



**PEMODELAN SOLAR WINDOW SEMITRANSSPARENT PHOTOVOLATAIC
PANELS UNTUK MENGHASILKAN POTENSI ENERGI LISTRIK
(Studi Kasus: Pekanbaru, Riau)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi



Oleh :

ABDUL HAFIZ SYAM

11455105031

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU**

2021

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak cipta milik UIN Suska

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PERSETUJUAN

PEMODELAN SOLAR WINDOW SEMITRANSSPARENT PHOTOVOLTAIC PANEL UNTUK MENGHASILKAN POTENSI ENERGI LISTRIK (Studi Kasus: Pekanbaru Riau)

TUGAS AKHIR

Oleh:

ABDUL HAFIZ SYAM

11455105031

telah diperiksa dan disetujui sebagai Laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro
di Pekanbaru, pada tanggal 24 Februari 2021

Ketua Program Studi

Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom

NIP. 19750922 200912 2 002

Pembimbing

Marhama Jelita S.Fd., M.Sc

NIK.130517054

UIN SUSKA RIAU



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PENGESAHAN

REMODELAN SOLAR WINDOW SEMITRANSSPARENT PHOTOVOLTAIC PANEL UNTUK MENGHASILKAN POTENSI ENERGI LISTRIK (Studi Kasus: Pekanbaru Riau)

TUGAS AKHIR

Oleh:

ABDUL HAFIZ SYAM
11455105031

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Fakultas
Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
di Pekanbaru, pada tanggal 24 Februari 2021

Pekanbaru, 24 Februari 2021

Mengesahkan,

Ketua Program Studi

Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom

NIP. 19750922 200912 2 002



Dr. Ahmad Darmawi, M.Ag

NIP. 196606041992031004

DEWAN PENGUJI :

Ketua

: Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom

Sekretaris

: Marhama Jelita, S.Pd., M.Sc

Anggota I

: Dr Liliana, S.T., M.Eng

Anggota II

: Novi Gusnita, S.T., M.T



LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

© Hak Cipta milik UIN Suska Riau

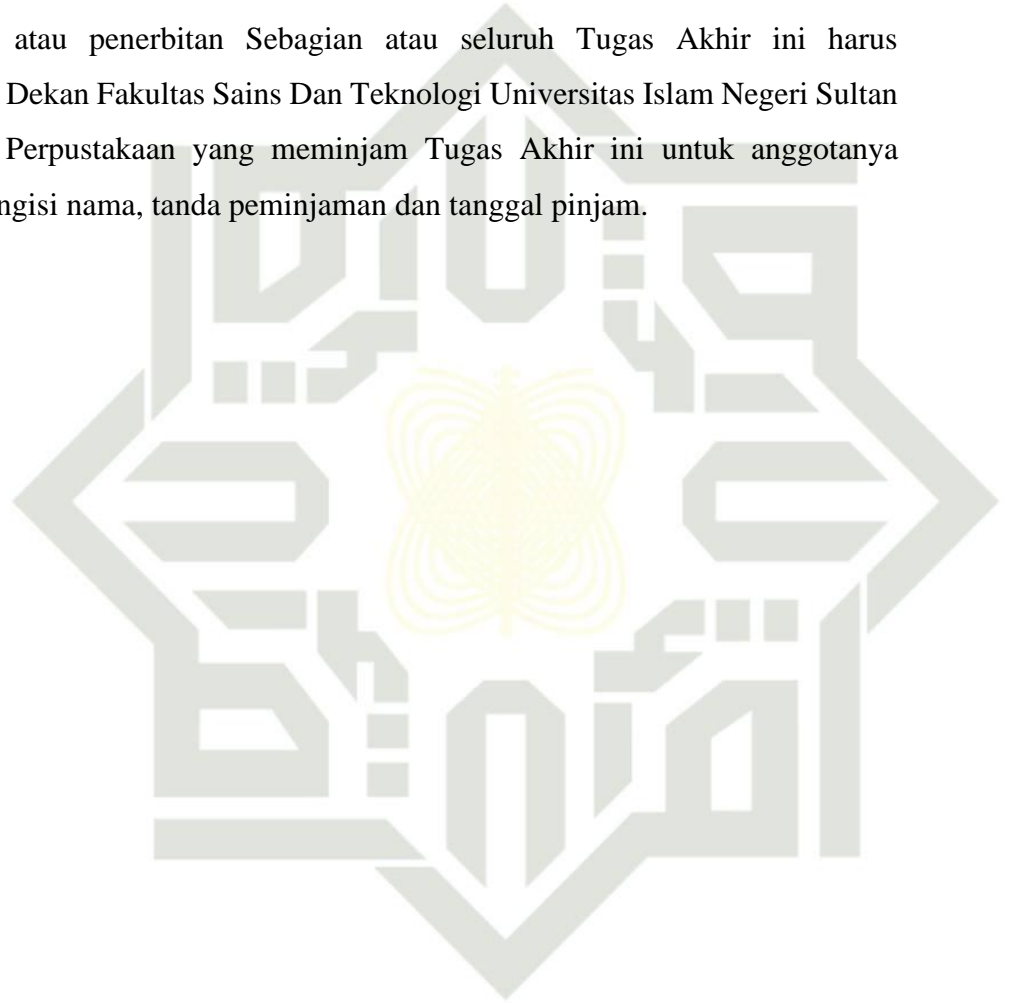
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Tugas akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan dengan mengikuti kaidah pengutipan yang berlaku.

Penggandaan atau penerbitan Sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjam Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.



UIN SUSKA RIAU



LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini tidak dapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan di dalam daftar Pustaka.

Pekanbaru, Februari 2021

Yang membuat pernyataan.

Abdul Hafiz Syam

Nim: 11455105031

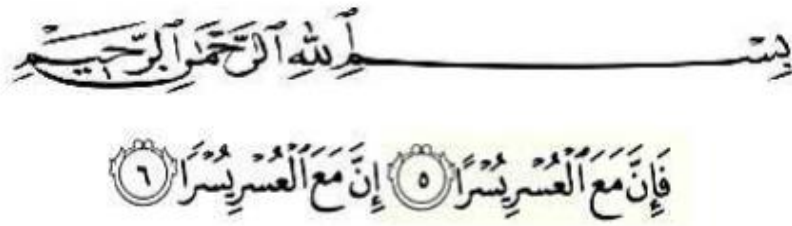
UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



LEMBAR PERSEMBAHAN



arena sesungguhnya bersama setiap kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama setiap kesulitan ada kemudahan”(Q.S Al Insyirah : 5 - 6).

“Untuk Ibunda Tercinta Misnawati dan Ayahanda terhormat Syamsul Bahri, Karya ini kupersembahkan untuk kalian tercinta”

Alhamdulillah puji dan syukur saya ucapkan kepada Allah SWT, yang selalu memberikan limpahan rahmat dan karunia-Nya. Shalawat dan salam ucapkan kepada nabi Muhammad SAW, yang telah membawa kita dari zaman jahiliyah hingga zaman islamiah.

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk orang tua yang telah memberikan saya kesempatan untuk bisa menjadi seorang anak yang mandiri dan terdidik, dengan kerja keras dan do’a – do’a yang selalu Ibu, Ayah panjatkan didalam sujudmu demi masa depan anak-anakmu. Semoga dengan menyelesaikan masa belajar ini saya berharap bisa menjadi kebanggaan untuk Keluarga. Ucapan terimakasih yang sangat besar bagi dosen pembimbing Ibu Marhama Jelita ,S.Pd., M.Sc., dan saudara perjuangan Teknik Elektro Angkatan 14 selalu wadiah inspirasi. semoga Allah limpahkan keberkahan, kesehatan dan umur yang panjang, tak sedikitpun jasa mu mampu terbalaskan, begitu luas dan dalam.

UIN SUSKA RIAU



PEMODELAN *SOLAR WINDOW SEMITRANSSPARENT PHOTOVOLTAIC* PANELS UNTUK MENGHASILKAN POTENSI ENERGI LISTRIK

(Studi Kasus: Pekanbaru Riau)

ABDUL HAFIZ SYAM

11455105031

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains Dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Kota Pekanbaru merupakan kota dengan konsumsi energi yang selalu meningkat sebesar 9.8% disetiap tahunnya. Untuk Memenuhi beban kosumsi energi listrik, maka pada penelitian ini menawarkan pembangkit listrik tenaga surya yang terintegrasi dengan kaca bangunan atau *Solar Windows Panels*. Tujuan dari penelitian ini adalah memodelkan *Solar Window Semitransparent Photovoltaic Panels* dan menghasilkan potensi energi listrik di kota Pekanbaru. Metode pada penelitian ini menggunakan pemodelan simulasi dengan menggunakan software comsol 5.3a dengan *Finite Element Method* (FEM). Skenario pemodelan menggunakan perubahan parameter ketebalan kaca yaitu 4mm, 5mm dan 6mm. Mendapatkan hasil temperatur terbaik sebesar 302.12 K pada ketebalan kaca 4mm diorientasi utara. Efisiensi sel PV terbaik sebesar 7.7932% pada ketebalan kaca 4mm diorientasi Utara. *Losses* efisiensi terbaik sebesar 0.9864% pada ketebalan kaca 4mm diorientasi utara. Energi listrik sebesar 0.26647 kWh pada ketebalan kaca 5mm diorientasi barat. Penggunaan sel PV yang terintegrasi pada kaca bangunan atau *Solar Window Panels* dapat menghasilkan potensi energi listrik terbaik pada ketebalan kaca 4mm.

Kata Kunci : Listrik, model simulasi, *Comsol Multiphysics*

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



MODELING SOLAR WINDOW SEMITRANSSPARENT PHOTOVOLTAIC PANELS TO PRODUCE ELECTRIC ENERGY POTENTIAL

(Case Study: Pekanbaru Riau)

ABDUL HAFIZ SYAM

11455105031

Department of Electrical Engineering

Faculty of Science and Technology

Sultan Syarif Kasim State Islamic University, Riau

Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRACT

Pekanbaru City is a city with energy consumption that always increases by 9.8% each year. To meet the energy consumption load, this study offers a solar power plant that is integrated with building glass or Solar Windows Panels. The purpose of this research is to model Solar Window Semitransparent Photovoltaic Panels and generate the potential for electrical energy in the city of Pekanbaru. The method in this research is using simulation modeling using comsol 5.3a software with the Finite Element Method (FEM). The modeling scenario uses changes in the glass thickness parameters, namely 4mm, 5mm and 6mm for 4 building orientations. Obtained the best temperature result of 302.12 K at a glass thickness of 4mm oriented north. Best PV cell efficiency of 7.7932% at 4mm glass fortitude of North oriented. The best efficiency losses were 0.9864% on the thickness of the 4mm glass oriented north. Electrical energy of 0.26647 kWh at 5mm glass thickness is oriented west. The use of PV cells integrated in building glass or Solar Window Panels can produce the best electrical energy potential at a glass thickness of 4mm..

Keywords : *Electrical, Comsol Multiphysics simulation model*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



KATA PENGHANTAR



Assalamu'alaikum Wr.Wb

Puji syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, yang telah mencurahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini. Salawat beserta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada junjungan alam, pembawa cahaya bagi kehidupan manusia yakni nabi Muhammad SAW, sebagai seorang sosok pemimpin umat yang patut diteladani bagi seluruh umat yang ada di dunia hingga akhir zaman.

Penulisan Tugas Akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi. Atas berkat rahmat dan ridho Allah SWT penulis dapat Menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul "Pemodelan *Solar Window Semitransparent Photovoltaic Panels* Untuk Menghasilkan Potensi Energi Listrik (Studi Kasus: Pekanbaru Riau)". Sudah menjadi ketentuan bagi setiap mahasiswa yang ingin menyelesaikan studinya pada program Sarjana S1 di UIN SUSKA Riau harus membuat karya ilmiah berupa Tugas Akhir. Pada proses pembuatan Tugas Akhir banyak penulis dapatkan masukan yang membantu penulis dalam menyelesaikannya, maka dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, baik itu berupa bantuan moral, materi, atau berupa pikiran yang tidak akan pernah terlupakan. Antara lain kepada:

1. Ibunda tercinta Misnawati, ayahanda terhormat Syamsul Bahri yang telah memberikan semangat, dukungan moril, maupun materil dan doa kepada penulis.
2. Saudara kandung saya M.Muzamil Syam selaku Abang dan M. Fakhrizal Bahri selaku adik.
3. Bapak Prof. Dr. Suyitno selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
4. Bapak Dr. Ahmad Darmawi, M.Ag selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
5. Ibu Ewi Ismaredah, S. Kom., M.Kom selaku ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau yang telah membuat proses administrasi pada Jurusan Teknik Elektro menjadi lebih baik dan efektif.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

6. Ibu Marhama Jelita ,S.Pd., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan banyak waktu serta pemikirannya dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Pada penyelesaiannya, melalui beliau penulis mendapatkan pengetahuan yang sangat berharga, dengan keikhlasan dan kesabaran dalam memberikan penjelasan dari nol hingga penulis menjadi paham sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik

7. Dr Liliana S.T.,M.Eng. selaku dosen penguji 1 Tugas Akhir yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran kepada penulis yang sangat membangun terhadap penulisan Tugas Akhir ini.

8. Novi Gusnita, S.T.,M.T. selaku dosen penguji 2 Tugas Akhir yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran kepada penulis yang sangat membangun terhadap penulisan Tugas Akhir ini.

9. Susi Afriani, S.T., M.T. selaku dosen Pembimbing Akademik yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi bimbingan dan motivasi sejak awal masuk Universitas hingga saya bisa lulus dari Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

10. Teman seperjuangan yang sudah dan yang akan segera mendapatkan gelar S.T Teknik Elektro Angkatan 14 khususnya konsentrasi Energi.

11. Serta seluruh pihak yang telah membantu penulisan dalam melaksanakan hingga menyelesaikan Tugas Akhir ini

Atas jasa-jasa yang telah diberikan kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini mampu diselesaikan sesuai prosedur yang berlaku di Jurusan Teknik Elektro. Tanpa bantuan dan dorongan yang diberikan, penulis tidak akan mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini, oleh sebab itu penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah meluangkan waktunya, hanya Allah SWT yang mampu membalas niat baik dan keikhlasan dengan sempurna. Semoga dengan keikhlasan mendapat balasan dari Allah SWT.

UIN SUSKA RIAU



DAFTAR ISI

Halaman

COVER	i
LEMBAR PENGESAHAN	iv
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	viii
KATA PENGHANTAR	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR RUMUS	xviii
DAFTAR GRAFIK	I-1
DAFTAR SINGKATAN	I-1
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1 Latar Belakang	I-5
1.2 Rumusan Masalah	I-5
1.3 Tujuan Penelitian	I-5
1.4 Batasan Masalah	I-6
1.5 Manfaat Penelitian	II-1
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
2.1 Penelitian Terkait	II-4
2.2 Energi	II-5
2.3 Bangunan	II-5
2.4 Jendela	II-6
2.5 Cell Photovoltaic	II-7
2.5.1 Sistem Kerja Photovoltaic	II-9
2.5.2 Jenis Sel Photovoltaic	II-11
2.6 Sistem Yield Dan Performance	II-11
2.6.1 Faktor Yang Mempengaruhi Kinerja Sel Photovoltaic	II-12
2.6.1.1 PV Array Size	



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

2.6.1.2	Iradiation.....	II-12
2.6.1.3	Efisiensi Pada Sistem	II-12
2.6.2	Menghitung Energi Yield PV Sistem.....	II-12
2.6.2.1	Perhitungan Energi Dalam 1 Modul PV	II-12
2.6.2.2	Perhitungan Efisiensi Sel PV	II-12
2.7	Solar Window Panels	II-14
2.8	Mekanisme Perpindahan Panas.....	II-16
2.8.1	Konduksi.....	II-16
2.8.2	Konveksi.....	II-18
2.8.3	Radiasi	II-19
2.9	Pemodelan Dan Simulasi	II-20
2.9.1	Model.....	II-21
2.9.2	Simulasi	II-21
2.9.3	Struktur Dasar Model Simulasi	II-22
2.9.4	Langkah-Langkah Model Simulasi	II-23
2.9.5	Manfaat Model Simulasi	II-24
2.10	Comsol Multipysics.....	II-24
2.11	Finite Elemen Methot	II-26
BAB III METODE PENELITIAN.....		III-1
3.1	Jenis Penelitian	III-1
3.2	Lokasi Penelitian	III-1
3.3	Prosedur Penelitian	III-2
3.4	Tahap Perencanaan	III-4
3.4.1	Identifikasi Masalah	III-4
3.4.2	Rumusan Masalah.....	III-4
3.4.3	Tujuan.....	III-4
3.4.4	Manfaat	III-4
3.5	Studi Literatur.....	III-4
3.6	Pengumpulan Data.....	III-4
3.6.1	Spesifikasi Sel PV	III-5
3.6.2	Radiasi Matahari.....	III-5



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

3.6.3	Suhu Dan Kecepatan Angin Rata-Rata	III-8
3.6.3.1	Suhu	III-10
3.6.3.2	Kecepatan Angin	III-11
3.7	Pemodelan dan simulasi	III-12
3.7.1	Definisi Model	III-12
3.7.2	Pengembangan Formulasi Model	III-14
3.7.3	Programing Menggunakan Software Comsol.....	III-15
3.8	Validasi	III-21
3.9	Skenario Penelitian (<i>Analisis Sensitivitas</i>)	III-21
3.10	Analisis Potensi Energi Yang Dihasilkan.....	III-22
3.11	kesimpulan Dan Saran	III-22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		IV-1
4.1	Pengolahan Data	IV-1
4.1.1	Data Radiasi Mataharai	IV-1
4.1.2	Data Temperatur	IV-2
4.2	Pemodelan Dalam Software Comsol Multiphysics	IV-4
4.2.1	Parameter	IV-4
4.2.2	Geometri	IV-4
4.2.3	Material Solar Window Panels	IV-5
4.2.4	Modul Physics	IV-7
4.2.5	Pemilohan Domain	IV-8
4.2.6	Parameter Sweep	IV-10
4.3	Validasi	IV-10
4.4	Kontur Temperatur Dan Percepatan	IV-13
4.5	Analisis Sensitivitas	IV-14
4.6	Temperatur Sel PV	IV-14
4.6.1	Temperatur Sel PV Pada Ketebalan Kaca 4mm.....	IV-15
4.6.2	Temperatur Sel PV Pada Ketebalan Kaca 5mm.....	IV-16
4.6.3	Temperatur Sel PV Pada Ketebalan Kaca 6mm.....	IV-18
4.7	Efisiensi Sel PV	IV-19
4.7.1	Efisiensi Sel PV Pada Ketebalan Kaca 4mm.....	IV-20



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

4.7.2 Efisiensi Sel PV Pada Ketebalan Kaca 5mm.....	IV-21
4.7.3 Efisiensi Sel PV Pada Ketebalan Kaca 6mm.....	IV-23
4.8 Losses Efisiensi Pada Sel PV	IV-24
4.8.1 Efisiensi Losses Pada Ketebalan Kaca 4mm	IV-25
4.8.2 Efisiensi Losses Pada Ketebalan Kaca 5mm	IV-26
4.8.3 Efisiensi Losses Pada Ketebalan Kaca 6mm	IV-27
4.9 Energi Listrik	IV-29
4.9.1 Energi Listrik Pada Ketebalan Kaca 4mm	IV-29
4.9.2 Energi Listrik Pada Ketebalan Kaca 5mm	IV-30
4.9.3 Energi Listrik Pada Ketebalan Kaca 6mm	IV-32
4.10 Analisis Pemodelan Pada Solar Window Panel	IV-33
4.10.1 Analisis Temperatur Sel PV	IV-33
4.10.2 Analisis Efisiensi Sel PV	IV-35
4.10.3 Analisis Efisiensi Losses	IV-36
4.10.4 Analisis Energi Listrik.....	IV-37
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	V-1
5.1 Kesimpulan	V-1
5.2 Saran	V-2
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Jenis Cristal Sel Photovoltaic	II-7
Gambar 2.2 Pengaruh Arus Terhadap Sel Photovoltaic	II-8
Gambar 2.3 Proses Sel Photovoltaic Mengalirkan Listrik	II-8
Gambar 2.4 <i>Monocrystalline PV Cell</i>	II-9
Gambar 2.5 <i>Polycrystalline PV Cell</i>	II-10
Gambar 2.6 <i>Thin Film PV Cell</i>	II-10
Gambar 2.7 <i>Transpatent PV Cell</i>	II-14
Gambar 2.8 Kontribusi Bangunan Menggunakan Solar PV Glass.....	II-15
Gambar 2.9 Comsol Multiphysics 5.3a	II-22
Gambar 3.1 Flowchat Penelitian	III-3
Gambar 3.2 Penampilan Awal Situs PV Watt <i>Calculator</i>	III-5
Gambar 3.3 Peta Pekanbaru Dalam Situs PV Watt <i>Calculator</i>	III-6
Gambar 3.4 Sistem Informasi Dalam Situs PV Watt <i>Calculator</i>	III-6
Gambar 3.5 Data Radiasi Matahari Untuk Orientasi Utara.....	III-7
Gambar 3.6 Gambaran Utama Situs NASA Power	III-8
Gambar 3.7 <i>POWER Single Poin Data Acces</i> Dalam Situs NASA Power	III-9
Gambar 3.8 <i>POWER Single Data Access</i> Dalam Situs NASA Power	III-9
Gambar 3.9 Model Solar Windows <i>Semitransparent Photovoltaic Panels</i>	III-12
Gambar 3.10 Flowchart Pemodelan <i>Solar Window Panels</i>	III-15
Gambar 3.11 Icon Software COMSOL Multiphysics	III-16
Gambar 3.12 Pemilihan Dimensi <i>Software Comsol Multiphysics</i>	III-16



Gambar 3.13 Pemilihan <i>Select Study</i>	III-17
Gambar 3.14 Geometri Model Dalam <i>Software Comsol</i>	III-18
Gambar 3.15 Pemodelan Dalam <i>Software Comsol</i> Setelah Masukan Material	III-19
Gambar 4.1 Parameter Pemodelan	IV-4
Gambar 4.2 Geometry Pemodelan.....	IV-5
Gambar 4.3 Geometry	IV-5
Gambar 4.4 Add Material	IV-6
Gambar 4.5 Data Material Kaca	IV-6
Gambar 4.6 Data Material Sel PV	IV-6
Gambar 4.7 Laminar Flow.....	IV-7
Gambar 4.8 Heat Transfer In Fluid	IV-8
Gambar 4.9 Domain Radiasi Matahari	IV-8
Gambar 4.10 Domain Radiasi Matahari	IV-8
Gambar 4.11 Surface Emissivity	IV-9
Gambar 4.12 Domain Temperatur	IV-9
Gambar 4.13 Parameter Sweep	IV-10
Gambar 4.14 Parameter Validasi.....	IV-11
Gambar 4.15 Material Validasi	IV-11
Gambar 4.16 Hasil Pemodelan Validasi.....	IV-11
Gambar 4.17 Hasil Pemodelan Jurnal Rujukan.....	IV-12
Gambar 4.18 Kontur Suhu (Temperatur)	IV-13
Gambar 4.19 Percepatan (Velocity)	IV-13
Gambar 4.20 Parameter Sweep	IV-14
Gambar 4.21 Hasil Pemodelan	IV-15

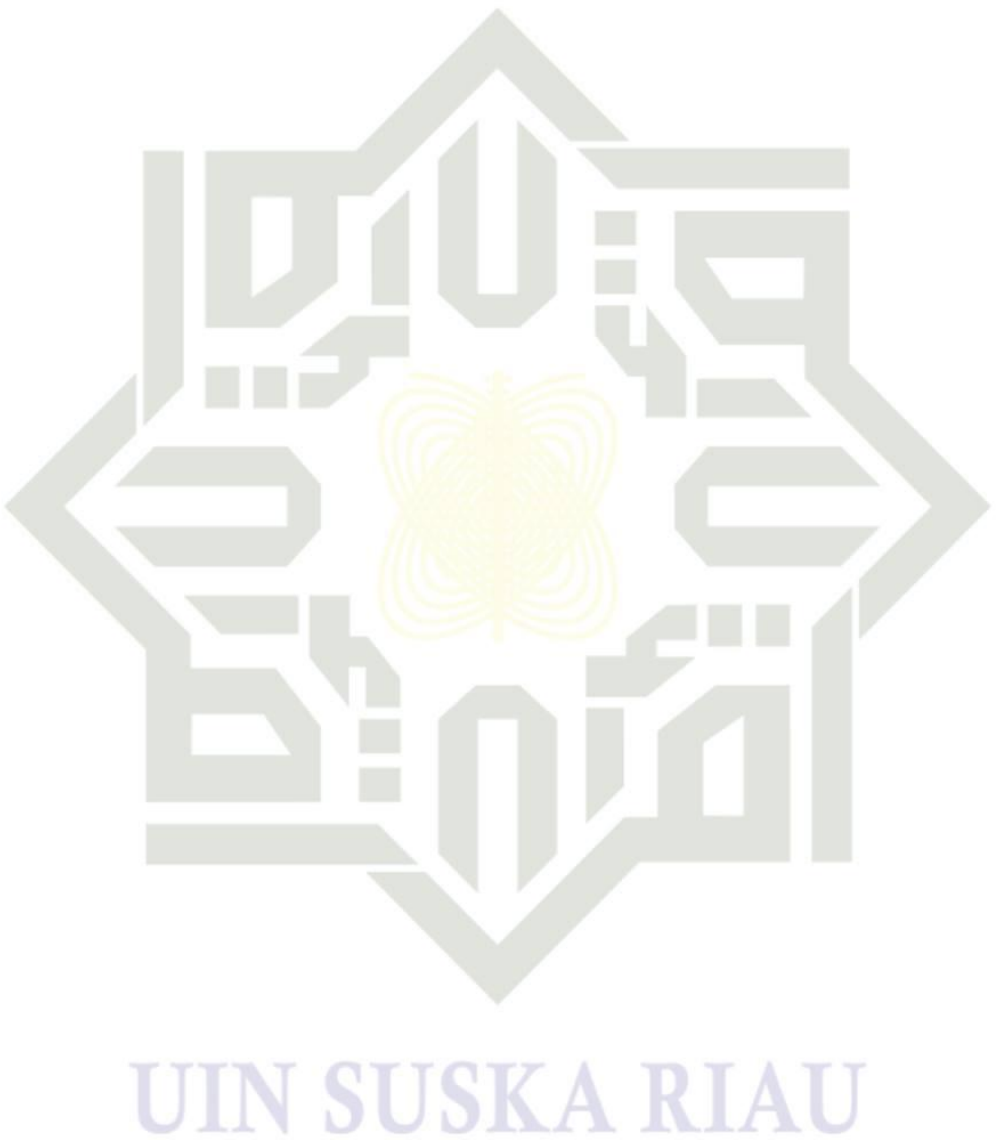


DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Nilai Konduktivitas Panas Beberapa Bahan.....	II-18
Tabel 3.1 Data spesifikasi Sel PV (<i>silicone Amorphous</i>).....	III-5
Tabel 3.2 Radiasi Matahari Dengan Kemiringan 90 ⁰ Pada Semua Orientasi	III-7
Tabel 3.3 Data Suhu	III-10
Tabel 3.4 Kecepatan Angin Maksimum m/s	III-11
Tabel 3.5 Parameter Masukan	III-17
Tabel 3.6 Sifat Bahan dan Laju Perpindahan Panas.....	III-19
Tabel 4.1 Data Radiasi Dalam W/m ²	IV-1
Tabel 4.2 Data Temperatur Dalam Kelvin	IV-3
Tabel 4.3 Temperatur Sel PV Pada Ketebalan Kaca 4mm.....	IV-15
Tabel 4.4 Temperatur Sel PV Pada Ketebalan Kaca 5mm.....	IV-17
Tabel 4.5 Temperatur Sel PV Pada Ketebalan Kaca 6mm.....	IV-18
Tabel 4.6 Efisiensi Sel PV Pada Ketebalan Kaca 4mm	IV-20
Tabel 4.7 Efisiensi Sel PV Pada Ketebalan Kaca 5mm	IV-22
Tabel 4.8 Efisiensi Sel PV Pada Ketebalan Kaca 6mm	IV-23
Tabel 4.9 Efisiensi Losses Akibat Temperatur (Ketebalan Kaca 4mm)	IV-25
Tabel 4.10 Efisiensi Losses Akibat Temperatur (Ketebalan Kaca 5mm)	IV-26
Tabel 4.11 Efisiensi Losses Akibat Temperatur (Ketebalan Kaca 6mm)	IV-27
Tabel 4.12 Energi Listrik Yang Dihasilkan Pada Ketebalan 4mm.....	IV-29
Tabel 4.13 Energi Listrik Yang Dihasilkan Pada Ketebalan 5mm.....	IV-31
Tabel 4.14 Energi Listrik Yang Dihasilkan Pada Ketebalan 6mm.....	IV-32
Tabel 4.15 Rata-rata Temperatur Sel PV.....	IV-34
Tabel 4.16 Rata-rata Sel PV	IV-35



Tabel 4.17 Rata-rata Efisiensi Losses.....	IV-36
Tabel 4.18 Rata-rata Energi Listrik	IV-37



Hak cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



DAFTAR RUMUS

Rumus	Halaman
Persamaan Energi Yield	II-13
Persamaan Effisiensi Sel PV	II-14
Persamaan Perpindahan Panas Konduksi	II-17
Persamaan Hukum Fourier	II-18
Persamaan Perpindahan Panas Konveksi	II-19
Persamaan Perpindahan Panas Radiasi.....	II-20
Persamaan Perpindahan Panas Konduksi Pada <i>Solar Window Panels</i>	III-13
Persamaan Kehilangan Panas Konveksi Pada <i>Solar Window Panels</i>	III-14
Persamaan Momentum Kehilangan Masa	III-14
Persamaan Momentum Kehilangan Energi	III-14
Persamaan Konduksi Dan Konveksi Pada Fluida Udara.....	III-14
Persamaan Radiasi Gelombang Panjang	III-15

UIN SUSKA RIAU



DAFTAR GRAFIK

	Halaman
Grafik 3.1 Suhu Kota Pekanbaru Riau	III-10
Grafik 3.2 Kecepatan Angin Pada 50 Meter Dalam m/s	III-11
Grafik 4.1 Data Radiasi Matahari	IV-2
Grafik 4.2 Data Temperatur Dalam Kelvin	IV-3
Grafik 4.3 Temperatur Sel PV Pada Ketebalan Kaca 4mm	IV-16
Grafik 4.4 Temperatur Sel PV Pada Ketebalan Kaca 5mm	IV-17
Grafik 4.5 Temperatur Sel PV Pada Ketebalan Kaca 6mm	IV-19
Grafik 4.6 Efisiensi Sel PV Pada Ketebalan Kaca 4mm	IV-21
Grafik 4.7 Efisiensi Sel PV Pada Ketebalan Kaca 5mm	IV-23
Grafik 4.8 Efisiensi Sel PV Pada Ketebalan Kaca 6mm	IV-24
Grafik 4.9 Efisiensi Losses Akibat Temperatur (Ketebalan Kaca 4mm)	IV-26
Grafik 4.10 Efisiensi Losses Akibat Temperatur (Ketebalan Kaca 5mm)	IV-27
Grafik 4.11 Efisiensi Losses Akibat Temperatur (Ketebalan Kaca 6mm)	IV-28
Grafik 4.12 Energi Listrik Yang Dihasilkan Pada Ketebalan 4mm	IV-30
Grafik 4.13 Energi Listrik Yang Dihasilkan Pada Ketebalan 5mm	IV-32
Grafik 4.14 Energi Listrik Yang Dihasilkan Pada Ketebalan 6mm	IV-33
Grafik 4.15 Rata-rata Temperatur Sel PV	IV-34
Grafik 4.16 Rata-rata Sel PV	IV-36
Grafik 4.17 Rata-rata Efisiensi Losses	IV-37
Grafik 4.18 Rata-rata Energi Listrik	IV-38



Hak Cipta

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR SINGKATAN

- = Giga Watt
- = Bahan Bakar Minyak
- = Pembangkit Listrik Nasional
- = Pembangkit Listrik Tenaga Biomasa
- = Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas
- = Pembangkit Listrik Tenaga Uap
- = Pembangkit Listrik Tenaga Air
- = Pembangkit Listrik Tenaga Gas
- = Pembangkit Listrik Tenaga Diesel
- = Pembangkit Listrik Tenaga Surya
- = Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hydro
- = Photovoltaic
- = Global Sustainable Energy Solutions
- = Alternating Current
- = Direct Current
- = Peak Sun Hours

UIN SUSKA RIAU



BAB I LATAR BELAKANG

Latar Belakang

Energi merupakan salah satu kebutuhan yang sangat penting bagi manusia sejak zaman dahulu, segala aktivitas-aktivitas yang dilakukan oleh manusia selalu membutuhkan energi baik itu aktivitas yang dilakukan oleh manusia sendiri maupun dengan bantuan alat yang lebih memudahkan manusia dalam menjalankan segala aktivitasnya. Terciptanya rasa nyaman dengan adanya energi akan membuat keterkaitan manusia dengan energi akan semakin besar. Dengan diiringinya perkembangan zaman dan kemajuan teknologi, maka kebutuhan energi akan semakin meningkat dan terus meningkat baik dalam bidang transportasi, ekonomi, sosial, kelistrikan dan lain sebagainya. Tercatat dalam Indonesia Energy Outlook 2019, konsumsi energi di Indonesia meningkat dengan rata-rata sebesar 3% pertahun dari tahun 2017 samapai tahun 2018 dengan konsumsi energi listrik sebesar 64,5 Giga Watt (GW). Sebagian besar energi yang dihasilkan berasal dari bahan bakar fosil khususnya batubara sebesar 50%, Gas bumi sebesar 29% dan Bahan Bakar Minyak (BBM) sebesar 7%. Sedangkan energi terbarukan baru menutupi sebesar 14% dari total konsumsi energi di Indonesia.[1]

Kota Pekanbaru Riau yang merupakan kota yang sedang berkembang di Indonesia, dalam penelitian “Analisa Perkiraan Kebutuhan Energi Listrik Tahun 2015-2024 Wilayah Pembangkit Listrik Nasional (PLN) Kota Pekanbaru ” menyebutkan bahwa kota Pekanbaru merupakan kota yang konsumsi energinya meningkat dari tahun ketahun yaitu sebesar 9,6% setiap tahunnya mulai tahun 2015 sampai dengan tahun 2024. Meningkatnya konsumsi energi terjadi dari berbagai sektor diantaranya konsumsi energi dari sektor rumah tangga dengan pertumbuhan 10,84%, sektor komersial naik sebesar 9,79% pertahun, sektor publik sebesar 8,44% pertahun dan sektor industri sebesar 0,62% pertahun, sehingga total perkiraan pertumbuhan konsumsi energi di kota Pekanbaru sebesar 1.727,27 Giga Watt hours (GWh) pada tahun 2015 naik menjadi 4.060,47 GWh pada tahun 2024 secara keseluruhan dari semua sektor. Maka dapat diasumsikan dari semua sektor terdapat konsumsi energi yang mendominasi yaitu sektor rumah tangga dan sektor komersial, pada sektor rumah tangga konsumsi energi terjadi pada alat-alat rumah tangga seperti kulkas, televisi, *microwave*, dan alat rumah tangga lainnya termasuk mesin pendingin ruangan. Sama halnya pada sektor



komersial seperti gedung-gedung perkantoran, konsumsi energi terjadi pada alat-alat seperti printer, mesin pendingin ruangan dan lain sebagainya.[2]

Provinsi Riau pada tahun 2018 memiliki total kapasitas pembangkit listrik sebesar 1.008 Mega Watt (MW) yang di dominasi oleh pembangkit listrik dari PT PLN (persero) sekitar 917 MW atau sebesar 57% dari total pembangkit listrik yang ada. Pembangkit listrik tersebut didominasi oleh Pembangkit Listrik Tenaga Biomasa (PLTBm) sekitar 557 MW atau sekitar 35,9%, Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG) sebesar 309 MW atau sekitar 19,2%, Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) batu bara sebesar 296MW atau sekitar 18,4%, Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) sebesar 141MW atau sekitar 8,7%, Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) sebesar 199MW atau sekitar 7,4%, Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) sebesar 114 MW atau sekitar 7,1%, Pembangkit Listrik Tenaga Uap dan Gas (PLTGU) sebesar 26MW atau sekitar 1,6%, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebesar 1MW atau sekitar 0,1% PLTHybrid sebesar 0,3MW atau sekitar 0,02% dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hydro (PLTMH) sebesar 0,1 MW atau sekitar 0,01%.[3]

Artinya masih besar pengaruh penggunaan bahan bakar fosil terhadap kebutuhan energi listrik di Provinsi Riau. Sebagaimana yang diketahui bahwa ketersediaan bahan bakar yang bersumber dari fosil semakin lama akan semakin habis dikarenakan bahan bakar fosil termasuk energi yang tidak dapat diperbarui dengan stok yang terbatas. Selain tidak dapat diperbarui, bahan bakar fosil juga membawa dampak buruk dalam pengoperasiannya seperti efek dari gas buang bahan bakar fosil yang berdampak tidak baik bagi lingkungan dan menyebabkan efek rumah kaca.

Efek dari gas rumah kaca adalah rusaknya lapisan ozon bumi yang dapat menyebabkan radiasi matahari langsung dapat menembus bumi yang akan menyebabkan terjadinya pemanasan global. Di Indonesia diperkirakan emisi gas rumah kaca akan mengalami peningkatan dari 1,89 Ton CO₂ perkapita pada tahun 2015 menjadi 8,61 Ton CO₂/kapita (BaU) pada tahun 2050, atau meningkat antara 2–4 kali lipat selama 35 tahun ke depan. Sehingga dapat diperkirakan bahwa setiap tahunnya di Indonesia mengalami kenaikan suhu seiring dengan penggunaan energi yang bersumber dari bahan bakar fosil semakin meningkat.[1]

Dalam upaya mengatasi permasalahan energi dan pengaruhnya terhadap lingkungan, solusi yang dapat diambil adalah pemanfaatan teknologi energi terbarukan. Energi terbarukan merupakan energi yang tidak dapat habis atau energi yang ketersediaan sumber energinya tidak terbatas. Energi terbarukan dapat juga dikatakan energi yang bersumber dari

1. Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



alam seperti contohnya energi panas bumi, energi air, energi matahari dan energi angin. Kota Pekanbaru memiliki potensi besar dalam membangun energi terbarukan, diantaranya energi angin sebesar 22 MW, tenaga surya sebesar 723 MW, tenaga air sebesar 1.754 MW, energi biomassa sebesar 4.195 MW, dan energi sampah sebesar 8 MW.[4]

Dari semua energi terbarukan yang potensial menjadi salah satu solusi untuk memenuhi kebutuhan energi adalah energi surya dimana kota Pekanbaru termasuk dalam daerah tropis dengan matahari menyinari sepanjang hari dengan durasi 5 jam. Selain itu di kota Pekanbaru sepanjang tahun 2019 memiliki energi Intensitas Radiasi Matahari rata-rata sebesar 4,73 kWh/m²/hari. Artinya dalam setiap meter persegi, Radiasi Matahari yang diterima permukaan bumi memiliki energi sebesar 4,73 kWh/m² rata-rata dalam satu hari. Besarnya radiasi matahari dapat dimanfaatkan dengan mengubahnya menjadi energi listrik dengan bantuan sel *photovoltaic* (PV) [5].

Kota Pekanbaru merupakan kota yang berkembang di Indonesia dengan kepadatan penduduk yang tinggi. Tercatat dari total luas kawasan kota Pekanbaru sebesar 632,26 km² dihuni oleh penduduk sebanyak 584.434 jiwa dan diperkirakan akan terus meningkat setiap tahunnya.[6] Pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat dan pesatnya pembangunan di kota Pekanbaru mengakibatkan keterbatasan lahan di daerah perkotaan maka pembangunan bangunan gedung bertingkat tinggi merupakan salah satu alternatif dalam mengatasi permasalahan lahan terbatas. Contoh bangunan gedung bertingkat yaitu bangunan domestik dan komersial seperti perhotelan, pusat perbelanjaan, perbankan, rumah sakit dan lainnya yang menjadi pusat pekerjaan dan kegiatan manusia. Pada bangunan hotel di Pekanbaru terdapat bangunan yang memiliki tinggi bangunan setinggi 29 lantai yaitu The Peak Hotel. Pada bangunan perbankan terdapat bangunan yang tingginya mencapai 16 lantai yaitu menara Bank Riau Kepri. Bangunan perbelanjaan memiliki ketinggian setinggi 15 lantai yaitu Sadira Plaza. Bangunan rumah sakit memiliki tinggi 10 lantai yaitu Aulia Hospital dan Rumah Sakit Awal Bross. Jika dilihat dari arsitektur bangunannya, bangunan-bangunan gedung bertingkat dapat dikelompokkan menjadi dua kategori yaitu konstruksi dinding tirai (*curtain wall*) yang sepenuhnya kaca atau kombinasi kaca dan panel dan konstruksi dinding bata jendela. Konstruksi *curtain wall* sangat umum diterapkan pada bangunan domestik dan komersial dikarenakan cahaya dapat masuk ke dalam bangunan dan membantu proses pencahayaan pada bangunan, sehingga konsumsi energi cahaya buatan dapat dikurangi.[7]



Penggunaan panel surya sebagai solusi alternatif dalam mengatasi kebutuhan listrik

memiliki potensi yang sangat tinggi untuk dapat diaplikasikan utamanya pada sektor bangunan di Indonesia. Bangunan menghabiskan sekitar 40% energi dan daya dunia, maka program penghematan energi listrik pada bangunan sangat diperlukan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mendukung program tersebut yakni dengan mengaplikasikan panel surya pada bangunan. Meski memiliki potensi energi surya yang besar, penggunaan panel surya di bangunan belum maksimal. Salah satu hal yang menyebabkan penggunaan panel surya belum maksimal adalah kebutuhan lahan untuk penempatan panel surya yang cukup besar. Konfigurasi penempatan panel surya yang membutuhkan matahari secara langsung merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi dalam penggunaan panel surya.[8] Untuk itu penerapan panel surya pada bangunan dapat menjadi solusi sebagai alternatif untuk menciptakan pembangkit listrik dari panel surya. Pada bangunan, pemanfaatan panel surya dapat diterapkan pada atap (*rooftop*) dan dinding bangunan. Dikarenakan dinding bangunan pada gedung berperan besar dalam penggunaan energi listrik dari penggunaan mesin pendingin dan konstruksi kulit bangunan umum menggunakan *curtain wall* atau kulit bangunan yang sepenuhnya kaca. Maka panel surya dapat dikombinasikan pada dinding bangunan atau yang disebut *solar windows panels*. [9]

Kinerja sel PV dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu intensitas matahari, suhu temperatur sel PV, shading dan lain-lain. Kajian sebelumnya hanya melakukan analisis potensi energi termal dan listrik sel PV [9], tanpa memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja sel PV. Faktor yang mempengaruhi kinerja sel PV sangat perlu diperhatikan karena akan mempengaruhi potensi energi dan daya listrik yang dihasilkan, juga efisiensi kinerja sel PV dapat dimaksimalkan. Pada penelitian ini, potensi energi yang dihasilkan dari penerapan *solar window semitransparent photovoltaic*, akan dianalisis menggunakan standar GSES (Global Sustainable Energi Solutions) yaitu yang dipengaruhi oleh faktor intensitas radiasi matahari dan *losses*. *Losses* energi yang dihasilkan sel PV dipengaruhi oleh faktor temperatur, *shading*, debu dan lain-lain.[10]

Faktor suhu pada panel surya sangat mempengaruhi kinerja dari sel PV. Dalam pengoperasian panel surya, intensitas radiasi yang diterima oleh sel PV, tidak sepenuhnya diubah menjadi listrik, tetapi sebagian intensitas radiasi ini berubah menjadi panas, sehingga menyebabkan peningkatan suhu pada panel surya. Dalam penelitian disebutkan semakin tinggi suhu pada sel PV, maka efisiensi sel PV akan semakin berkurang. Untuk itu, faktor suhu juga sangat mempengaruhi sel PV dalam pengoperasian panel surya.[11]



Temperatur dan efisiensi sel PV yang dihasilkan *solar window semitransparent photovoltaic* akan diprediksi dengan membuat model secara matematis dengan menggunakan persamaan differensial yang disimulasikan dengan menggunakan *software Comsol Multiphysics*. *Software Comsol Multiphysics* merupakan *software* bantu yang dapat digunakan untuk pemodelan dan pemecahan dari semua jenis masalah sains dan teknik. Penggunaan *software* ini menggunakan metode analisis elemen atau *Finite Element Method* (FEM) yang artinya *software comsol* menganalisa elemen hingga persamaan dengan adaptif dan mengontrol error dengan berbagai pemecahan numerik. Sedangkan untuk mendapatkan potensi energi dari sel PV dapat menggunakan standar GSES yaitu *energy yields*, radiasi matahari yang dikalikan dengan daya maximim pada sel PV dan efisiensi *losses*. Kemudian energi listrik dapat dianalisis dan performa sel PV.

Dari alur penelitian diatas maka dapat diangkat penelitian dengan judul **“Pemodelan Solar Windows Semitransparent Photovoltaic Panels Untuk Menghasilkan Potensi Energi Listrik Di Kota Pekanbaru Riau”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

- Bagaimana memodelkan *solar window panel* di Kota Pekanbaru Riau?
- Bagaimana menganalisis potensi energi listrik yang dihasilkan dari *Solar Windows Semitransparent Photovoltaic Panels*?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

- Menghasilkan pemodelan sistematis fasad bangunan yang dikombinasikan dengan sel photovoltaic menggunakan *software Comsol Multiphysics*
- Menganalisis potensi energi listrik *Solar Windows Semitransparent Photovoltaic Panels* di Kota Pekanbaru Riau.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian kali ini adalah:

- Pada penelitian ini aliran di anggap laminar dan keadaan *Stasioner* atau *Steady*
- Pada penelitaian ini ventilasi udara pada pemodelan dianggap tidak ada.
- Penelitian ini menggunakan *Software Comsol Multiphysics 5.3a*



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- d. Data radiasi matahari diambil dari situs PV Watts *Calculator*.
- e. Data suhu dan kecepatan angin diambil dari situs NASA Power.
- f. Radiasi matahari yang menjadi nilai masukan adalah radiasi matahari di kota Pekanbaru Riau tahun 2019
- g. Suhu rata-rata perbulan selama setahun yang menjadi masukan adalah suhu rata-rata di kota Pekanbaru Riau tahun 2019
- h. Analisis potensi pada penelitian hanya membahas potensi energi yang dihasilkan oleh sel PV tanpa membahas system pembangkit PLTSnya

Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian kali ini adalah:

- a. Pemodelan jendela yang dikombinasikan dengan sel photovoltaic dapat menjadi solusi untuk keterbatasan bahan bakar fosil sebagai penghasil energi listrik.
- b. Dapat diterapkan menjadi bentuk nyata sehingga penggunaan energi yang lebih baik dapat terwujud untuk penelitian selanjutnya..



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian Terkait

Untuk membantu dalam melakukan penelitian tugas akhir ini maka perlu dilakukan studi literatur guna untuk membantu peneliti dalam mencari landasan teori dan referensi yang berkaitan dengan penelitian. Teori serta referensi didapat dari jurnal, buku, paper dan sumber lainnya yang berhubungan dengan sistem pemodelan jendela yang dikombinasikan dengan sel photovoltaic, serta segala hal yang mendukung dalam penelitian.

Penelitian dengan judul “*Buildings Of Furtur: Smart, Low-cost and Energi Efficient Solutions*”. [12] tujuan dari penelitian ini adalah mencari solusi dari permasalahan energi dan efek energi terhadap lingkungan dengan solusi yang mencakup inovasi-inovasi baru seperti fasad ganda yang dikombinasikan dengan sel PV. Metode yang digunakan adalah simulasi menggunakan software bantu dengan masukan iklim cuaca di daerah Timur Tengah. Mendapatkan hasil bahwa pada tahun pertama perpindahan panas pada bangunan dapat di kurangi sebesar 31%. Sistem PV glazur bisa memberikan pengurangan sebesar 1,1-2,2 % konsumsi energi dalam total konsumsi energi pada bangunan komersial. Emisi gas rumah kaca juga dapat dikurangi secara signifikan melalui Sistem PV fasad dengan perkiraan pengembalian periode sistem tersebut adalah sekitar 15 tahun. Penggunaan sistem PV fasad juga mempengaruhi penggunaan energi untuk sistem pendingin dan peralatan pendingin ruangan seperti *Air Conditioning* dapat dikurangi hingga 61%.

Penelitian dengan judul “*Analisis Termal dan Prestasi Tetingkap Dwi Kaca dengan Modul Fotovoltan Semi-lutsinar*”. [13] Bertujuan untuk melihat pengaruh perbedaan gas yang ada pada rongga udara pada jendela kaca ganda yang dikombinasikan dengan sel PV dengan metode analisa simulasi menggunakan *Software* bantu Comsol Multiphysics dengan masukan iklim di negara Malaysia. Jenis gas yang digunakan adalah Udara, Argon, Krypton dan Xenon dengan hasil ditemukan bahwa penggunaan xenon adalah gas terbaik yang memberikan kehilangan panas terendah dengan laju transfer panas rendah hal ini dikarenakan gas xenon memiliki nilai konduktivitas yang tertinggi di banding gas lainnya.

Penelitian dengan judul “*Semi-transparent PV window for zero energy office buildings*”. [14] Penelitian ini bertujuan untuk melihat potensi energi yang dihasilkan dari penggunaan sel PV pada fasad bangunan di negara Brazil. Dilakukan pada dua kota dengan iklim yang berbeda yaitu Fortalenza dan Florianopolis dengan Iradiasi matahari rata-rata sebesar 5,67 kWh/m² dan 4,77 kWh/m². Dapat disimpulkan dari penelitian ini bahwa



penggunaan PV dalam setahun pada kota Fortalenza untuk gedung bertingkat menghasilkan energi sekitar 1% dari penggunaan energi pada gedung tersebut. Sedangkan di kota Florianopolis menghasilkan energi sebesar 11% data total konsumsi energinya. Pada masing-masing kota besar 6% dan 14% energi dapat dimasukan kedalam jaringan listrik. Distribusi energi yang dihasilkan sesuai dengan permukaan instalasi PV yang berbeda. Modul *photovoltaic* di atap menghasilkan 29% hingga 35% energi di Florianopolis dan 38% hingga 39% di Fortaleza. Di Florianopolis modul PV pada fasad menghasilkan bagian terbesar dari energi yang diproduksi seluruhnya yaitu sebesar 44% dan 32%. Pada kaca jendela PV semi-transparan menghasilkan energi sebesar 17% dan 21% di Florianopolis dan 11% dan 16% di Fortaleza.

Penelitian dengan judul “*Performance Evaluation Of The Photovoltaic Double-Skin Fasad*” [15] Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki kinerja sel PV semi transparan terhadap 3 jenis perlakuan sel PV yaitu konvensional fasad tunggal, fasad PV ganda yang tidak berventilasi dan fasad PV ganda yang berventilasi di kota Shanghai China. Menggunakan metode simulasi pemodelan dan mendapatkan hasil bahwa pada fasad PV ganda berventilasi paling banyak menghemat energi pada bangunan sedangkan fasad tunggal yang paling sedikit menghemat energi. Energi yang dihasilkan dari semua *cell photovoltaic* transparan sebesar 7% dari total konsumsi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan ini mampu memenuhi kebutuhan energi dari peralatan pendingin ruangan pada bangunan. Pada fasad PV ganda berventilasi lebih baik diterapkan pada musim dingin daripada musim panas karena kecepatan udara dalam rongga berkisar antara 0,08m/s. sementara pada musim panas kecepatan udara pada rongga sebesar 0,44m/s. sedangkan pada fasad PV ganda tidak berventilasi, kecepatan udara dalam rongga sebesar 0,36m/s pada musim dingin dan 0,7m/s pada musim panas

Penelitian dengan judul “*Assessment of Active Double Skin Façade Integrated With PV Cell*” [16] tujuan utama apada penelitian ini adalah untuk mempelajari efisiensi sistem energi surya menggunakan *cell* PV semi transparan di dalam rongga udara dari bangunan fasad dengan metode perhitungan numerik tentang perilaku *double skin fasade* dengan hasil bahwa penerapan sistem ini telah meningkatkan PV voc sebesar 2,25% dan meningkatkan kinerja proses perpindahan panas sehingga mengurangi suhu kaca dalam hingga 25⁰ C (77⁰ F) dan mengurangi konsumsi energi listrik pada bangunan. Penerapan sistem ini dapat diterapkan dalam kondisi iklim yang berbeda dimusim panas dengan intensitas cahaya yang tinggi dan di musim dingin yang ekstrim. Perhitungan telah dilakukan pada kondisi cuaca



musim panas maksimum dan rata-rata musim panas di Kairo-Mesir. Sebanyak 5 percobaan berbeda dilakukan dengan berbeda tipe dan lokasi suhu udara. Pada percobaan distribusi suhu yang terjadi mencapai nilai yang diterima yaitu sebesar 25°C (77°F) hingga pada percobaan ke-5 distribusi meningkat hingga 30°C . Setelah membandingkan DSF dengan dan tanpa ventilasi, didapatkan bahwa Voc meningkat sebesar 2.85%. peningkatan Voc per *cell photovoltaic* dianggap baik karena membantu mengurangi distribusi termal kedalam ruang hunian pada bangunan.

Penelitian dengan judul "*Determination of optimum air-layer thickness in double-pane windows*". [17] Pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan ketebalan kaca yang baik pada setiap kota yang berbeda di Negara Turki yaitu Ankara, Antalya, Kars dan Trabzon. Penelitian ini mempertimbangkan ukuran rongga udara berdasarkan iklim di setiap kota di Turki. Hasilnya adalah pada kota Antalya ketebalan rongga udara yang optimal adalah sebesar 18-21mm, pada kota Trabzon dan Ankara ketebalan optimal sebesar 15-18mm, dan kota kars ketebalan optimal sebesar 12-15mm. Dalam kasus ini menunjukkan penghematan energi yang besar dengan sistem jendela *double paned*.

Penelitian dengan judul *Thermal behavior of a novel type see-through glazing system with integrated PV cells*. [18] Penelitian ini bertujuan menganalisa termal terhadap sistem kaca ganda tembus pandang yang terintegrasi dengan *cell photovoltaic*. Mendapatkan hasil bahwa untuk mendapatkan perpindahan yang akurat untuk suhu ruangan dan tingkat efisiensi energi pada *cell photovoltaic*, maka didapatkan ketebalan optimal dari lapisan rongga udara adalah sebesar 60-80mm. dari ketebalan tersebut, kehilangan energi dari jendela bisa dikurangi dan pembangkit listrik tambahan dari pv sel juga dapat dipergunakan untuk sistem jendela kaca ganda transparan. Jenis sistem kaca baru ini tidak hanya menghasilkan listrik tetapi juga mencapai potensial penghematan energi dengan mengurangi beban pendinginan AC ketika diterapkandan secara bersamaan memberikan kenyamanan visual di lingkungan dalam ruangan.

Pada penelitian sebelumnya sel *photovoltaic* sangat berpotensi menghasilkan energi jika di kombinasikan dengan fasad bangunan dan layak untuk dilanjutkan. Oleh karena itu berdasarkan penelitian terkait dan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat dilakukan penelitian untuk mendapatkan potensi energi yang dihasilkan dari sel *photovoltaic* dikombinasikan dengan fasad bangunan dikota Pekanbaru dengan masukan iklim dan spesifikasi ketebalan kaca di kota Pekanbaru. Penelitian ini yang menjadi objek adalah fasad bangunan dan menggunakan *Software* bantu yaitu *Comsol Multiphysics 5.3a* untuk



memodelkannya sehingga penelitian ini mendekati penelitian [13]. Secara umum penelitian ini berupa pemodelan dan perhitungan potensi energi listrik yang dihasilkan dari sel PV yang dikombinasikan pada kaca ganda dengan ketebalan kaca yang berbeda. Dari pemodelan dihasilkan kontur suhu dan percepatan sehingga didapatkan temperatur sel PV dan efisiensi sel PV untuk menghitung energi listrik yang dihasilkan. Temperatur dan efisiensi sel PV yang dihasilkan *solar window semitransparent photovoltaic* akan diprediksi dengan membuat model secara matematis dengan menggunakan persamaan differensial yang diimplementasikan dengan menggunakan *software* Comsol Multiphysics. *Software* Comsol Multiphysics merupakan *software* bantu yang dapat digunakan untuk pemodelan dan pemecahan dari semua jenis masalah sains dan teknik. Penggunaan *software* ini menggunakan metode analisis elemen atau *Finite Element Method* (FEM) yang artinya *software* comsol menganalisa elemen hingga persamaan dengan jaringan adaptif dan mengontrol error dengan berbagai pemecahan numerik. Sedangkan untuk mendapatkan potensi energi dari sel PV dapat dianalisis menggunakan standar GSES yaitu energy yields dan performa sel PV.

Sedangkan pada penelitian [13] berupa analisis performa sel PV terhadap aliran panas yang terjadi pada kaca ganda dengan masukan jenis gas yang berbeda pada rongga udara.

2.2 Energi

Energi berasal dari bahasa yunani yaitu *energia* yang berarti aktivitas atau kegiatan. Energi terbentuk dari dua suku kata, *en* (dalam) dan *ergon* (kerja). Menurut ilmu fisika, energi adalah kemampuan untuk melakukan usaha atau kerja. Kemampuan tersebut diukur dengan variabel waktu dan besarnya usaha yang dilakukan. [19]

Secara sederhana, energi adalah hal yang membuat segala sesuatu di sekitar kita terjadi. Kita menggunakan energi untuk semua hal yang kita lakukan. Energi ada di semua benda, manusia, tanaman, binatang, mesin, dan elemen-elemen alam (matahari, angin, air dsb). Ada banyak sumber-sumber energi utama dan digolongkan menjadi dua kelompok besar yang dibahas pada alinea-alinea berikut: [19]

- a. Energi konvensional adalah energi yang diambil dari sumber yang hanya tersedia dalam jumlah terbatas di bumi dan tidak dapat diregenerasi. Sumber-sumber energi ini akan berakhir cepat atau lambat dan berbahaya bagi lingkungan.
- b. Energi terbarukan adalah energi yang dihasilkan dari sumber alami seperti matahari, angin, dan air dan dapat dihasilkan lagi dan lagi. Sumber akan selalu tersedia dan tidak merugikan lingkungan. [19]



Sumber-sumber energi Konvensional dan Terbarukan bisa dikonversikan menjadi sumber-sumber energi sekunder, seperti listrik. Listrik berbeda dari sumber-sumber energi lainnya dan dinamakan sumber energi sekunder atau pembawa energi karena dimanfaatkan untuk menyimpan, memindahkan atau mendistribusikan energi dengan nyaman. Sumber energi primer diperlukan untuk menghasilkan energi listrik.[19]

Di Indonesia, Sektor energi adalah salah satu sektor terpenting di Indonesia karena merupakan dasar bagi semua pembangunan lainnya. Ada banyak tantangan yang terkait dengan energi, dan salah satu hal yang menjadi perhatian pemerintah Indonesia adalah bagaimana memperluas jaringan listrik, terutama dengan membangun infrastruktur pasokan listrik ke daerah perdesaan. Masih ada banyak daerah perdesaan yang sering mengalami pemadaman listrik oleh karena infrastruktur yang tidak memadai. Banyak tempat yang tidak memiliki akses terhadap infrastruktur listrik, sehingga masyarakat menggunakan sumber-sumber energi yang mahal dan tidak efisien, seperti lampu minyak tanah dan genset, atau kayu untuk memasak.[19]

Pada tahun 2008, tingkat rata-rata ketersediaan jaringan listrik di Indonesia adalah 55%. Pemerintah memiliki rencana untuk meningkatkan akses publik terhadap listrik, yang akan bisa mempercepat peningkatan pembangunan di lokasi-lokasi yang terisolasi. Dulu, tujuan utama pengadaan jaringan listrik adalah menghubungkan desa-desa dengan jaringan listrik PLN, yang bukan merupakan solusi praktis untuk dapat menjangkau semua tempat di Nusantara.[19]

2.3 Bangunan

Bangunan gedung adalah konstruksi bangunan yang diletakkan secara tetap dalam suatu lingkungan, di atas tanah/perairan, ataupun di bawah tanah/perairan, tempat manusia melakukan kegiatannya, baik untuk tempat tinggal, berusaha, maupun kegiatan sosial dan budaya. Sedangkan mengenai klasifikasi bangunan gedung sesuai dengan Keputusan Menteri PU no. 441/KPTS/1998 tentang Persyaratan Teknis Bangunan Gedung dan Lingkungan. Bangunan umum adalah bangunan gedung yang digunakan untuk segala macam kegiatan kerja antara lain untuk:[20]

- a. Pertemuan umum
- b. Perkantoran
- c. Hotel
- d. Pusat Perbelanjaan/Mal
- e. Tempat rekreasi/hiburan



f. Rumah Sakit/Perawatan

g. Museum

Jendela

Jendela adalah bagian dari elemen atau unsur rumah dan bangunan yang dapat memasukkan cahaya alami atau vista dan sirkulasi udara dari dalam dan luar bangunan. Berdasarkan kamus bahasa Indonesia, jendela adalah lubang yang dapat diberi tutup dan berfungsi sebagai tempat keluar masuk udara. Pada masa awal penggunaannya, jendela hanya berfungsi sebatas pengertian sebagai suatu bukaan pada suatu bangunan tertentu. Akan tetapi, sesuai perkembangan zaman, pengertian akan jendela makin bertambah dengan dimasukkannya nilai-nilai estetika atau keindahan, kekokohan atau kekuatan, keamanan, kenyamanan untuk dipergunakan, serta unsur ekonomi atau perhitungan biaya dan perencanaan dan perancangan jendela.[21]

Maka dapat disimpulkan bahwa fungsi utama jendela adalah untuk sirkulasi cahaya dan udara dari dalam dan luar bangunan. Selain dari pada itu, jendela juga dapat berfungsi sebagai penjaga privasi serta keamanan sebuah rumah, yaitu sebagai pemisah antar ruang dalam bangunan atau pemisah antara ruang dengan ruang dalam bangunan. Dengan ditemukannya kaca, jendela dapat berfungsi untuk melihat keluar bangunan tanpa harus membuka jendela atau keluar bangunan. Jendela juga dilengkapi dengan berbagai macam aksesoris pendukung seperti tirai/gorden dan teralis.[21]

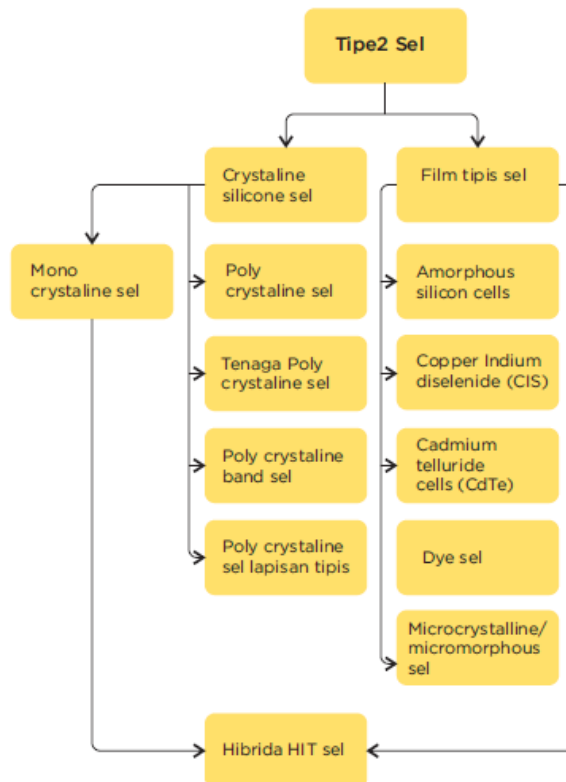
2.5 Cell Photovoltaic

Prinsip *photovoltaic* ditemukan pada abad 19 dan merujuk kepada pembangkit listrik (volt) dari energi yang ada di matahari (photon). Pada tahun 1950an, modul PV yang pertama telah dikembangkan secara komersial, meskipun industri ini mulai tumbuh terutama sejak tahun tujuh puluhan. Modul PV Surya tengah digunakan untuk satelit teknologi canggih untuk sistem tenaga surya rumah tangga yang sederhana. Modul ini dipasang pada instalasi yang dihubungkan dengan jaringan megawatt (MW) maupun 50 watt dan penggunaan pencahayaan yang lebih kecil yang menggunakan baterai sebagai cadangan. Kita malah menyaksikan PV tenaga surya yang digunakan pada arloji, kalkulator dan peralatan jinjing (*backpack*), yang telah menambah beberapa pemakaian praktis dalam waktu singkat. Konversi modul PV surya, seperti yang disebutkan di atas, adalah energi dari cahaya matahari yang diubah menjadi energi listrik. Dengan kata lain, photovoltaik (PV) adalah teknologi berdasarkan semi-konduktor dalam kondisi padat yang mengkonversi energi



cahaya matahari secara langsung menjadi energi listrik, tanpa ada bagian yang berputar, tidak menimbulkan kebisingan, dan tanpa mengeluarkan gas buangan. Modul ini tersedia dalam berbagai kapasitas, mulai dari 1 watt hingga 300 watt. Energi yang dimiliki tanah pada bumi kita memiliki nilai maksimum 1000 watt per meter persegi. Ini dinamakan matahari puncak dan tingkat modul PV adalah tenaga puncak yang bisa dipasok oleh modul pada saat energi dari matahari adalah 1.000 watt per meter persegi. Output dari modul surya juga bergantung kepada modulnya (atau sel), suhu sehingga output tenaga tersebut seperti yang diilaskan oleh pabrik modul surya adalah 25°C suhu *cell*. [19]

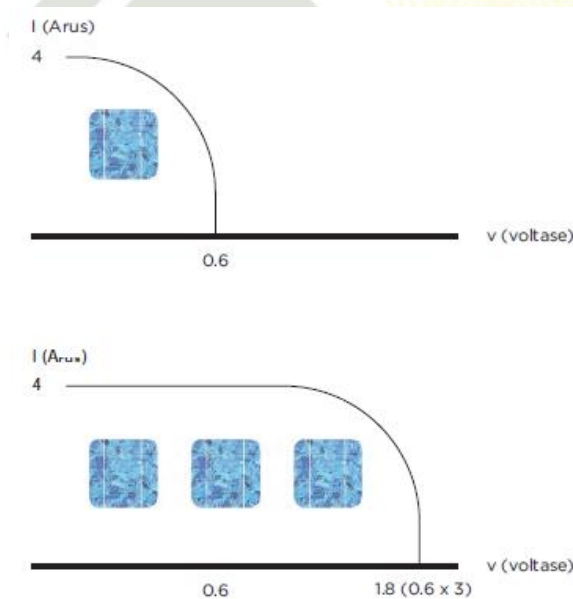
Berbagai teknologi sel tersedia di pasar, seperti *mono* (single) *crystalline*, *poly* (multi) *crystalline*, *amorphous silicon* (a-Si) (thin film) *solar modules*, *copper-indium diselenide* (CuInSe₂ or CIS), *cadmium-telluride* (CdTe), *gallium arsenide* (GaAs), *cell surya organic* menggunakan titanium *oxides* dan *organic dyes*, serta lain-lainnya termasuk penggabungan dari teknologi-teknologi ini. Teknologi plat datar adalah yang paling lazim dijual secara komersial. Sedangkan sistem konsentrator, meskipun menggunakan bahan PV yang lebih murah, dan pembuatannya yang mengkonsentrasikan lebih banyak sinar matahari pada PV dengan lensa plastik atau *reflektor* yang harganya tidak mahal, belum menimbulkan dampak yang signifikan di pasar komersial, namun dengan cepat menjadi pemain yang serius dalam skala penggunaan sistem PV (> 1 MW). [19]



Gambar 2.1 Jenis Cristal *Cell Photovoltaic*[19]

Sistem Kerja *Photovoltaic*

Semua teknologi berbasis semi-konduktor bekerja dengan prinsip yang sama, foton dari sinar matahari menerpa elektron di dalam *cell photovoltaic* sehingga memberikan energi yang cukup bagi sebagian elektron untuk berpindah dari junction semi-konduktor dan menimbulkan “tekanan” listrik. Alasan untuk tekanan ini adalah bahwa ada ketidakseimbangan listrik, terlalu banyak elektron (bermuatan negatif) pada satu sisi junction dan terdapat terlalu banyak muatan positif di sisi lainnya. Pada saat elektron mengalir dari tempat dengan terlalu banyak elektron ke tempat dengan terlalu sedikit elektron, maka tekanan akan berkurang. Hal ini terjadi ketika ada interkoneksi di antara *cell*. Pada saat *cell* saling dihubungkan, maka terciptalah modul. Modul yang paling tersedia secara komersial dikonfigurasi untuk menghasilkan voltase sirkit sekitar 20 volt dan *charging* nominal *voltage* sebesar 14 volt, agar membuatnya sesuai untuk mengisi baterai 12 volt. Pada umumnya modul ini terdiri dari 36 *cell* secara serial dengan sebutan modul 12 volt.[19]



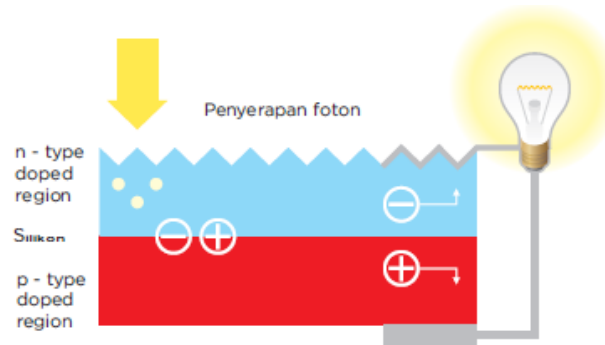
Gambar 2.2 Pengaruh *Cell Photovoltaic* Terhadap Arus Yang Dihasilkan. [19]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.3 Proses *Cell Photovoltaic* Menghasilkan Listrik. [19]

Modul surya menghasilkan arus searah (DC) yang berarti arus satu arah. Ini berlaku sama pada baterai. Kebalikan dari arus searah adalah arus bolak-balik (AC). sumber arus bolak-balik secara teratur membalikkan polaritas. Jika peralatan di rumah atau bangunan memerlukan arus bolak-balik (AC) untuk mengoperasikannya, maka arus searah (DC) dari modul PV harus diubah menjadi arus bolak-balik (AC). Hal ini bisa dilakukan menggunakan inverter. [19]

Modul PV Surya digunakan untuk berbagai keperluan. Modul surya bisa digunakan untuk instalasi kecil seperti mengalirkan listrik untuk beberapa lampu dan penggunaan rumah tangga, tetapi juga untuk instalasi yang lebih besar yang mengalirkan listrik ke desa-desa secara menyeluruh. [19]

2.5.2 Jenis Jenis *Cell Photovoltaic*

Monocrystalline

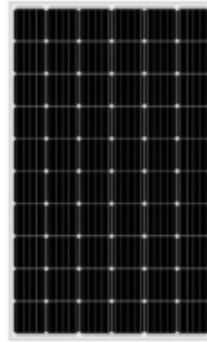
Jenis ini terbuat dari batangan kristal silikon murni yang diiris tipis-tipis, sehingga akan dihasilkan kepingan sel surya yang identik satu sama lain dan berkinerja tinggi. Sel surya ini adalah jenis yang paling efisien dibandingkan jenis sel surya lainnya, efisiensinya sekitar 15% -20%. Mahalnya harga kristal silikon murni dan teknologi yang digunakan, menyebabkan mahalnya harga jenis sel surya ini dibandingkan jenis sel surya yang lain di pasaran. Kelemahannya, sel surya jenis ini jika disusun membentuk solar modul (panel surya) akan menyisakan banyak ruangan yang kosong karena sel surya seperti ini umumnya berbentuk segi enam atau bulat, tergantung dari bentuk batangan kristal silikonnya. [22]



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau



Gambar 2.4 Monocrystalline PV Cell

Polycrystalline

Jenis ini terbuat dari beberapa batang kristal silikon yang dilebur / dicairkan kemudian dituangkan dalam cetakan yang berbentuk persegi. Kemurnian kristal silikonnya tidak sempurna pada sel surya monocrystalline, karenanya sel surya yang dihasilkan tidak identik satu sama lain dan efisiensinya lebih rendah, sekitar 13% - 16%. Tampilannya nampak seperti ada motif pecahan kaca di dalamnya. Bentuknya yang persegi, jika disusun membentuk panel surya, akan rapat dan tidak akan ada ruangan kosong yang sia-sia seperti susunan pada panel surya monocrystalline. Proses pembuatannya lebih mudah dibanding *monocrystalline*, karenanya harganya lebih murah. Jenis ini paling banyak dipakai saat ini.[22]



Gambar 2.5 Polycrystalline Cell PV

Thin Film

Jenis sel surya ini diproduksi dengan cara menambahkan satu atau beberapa lapisan material sel surya yang tipis ke dalam lapisan dasar. Sel surya jenis ini sangat tipis karenanya sangat ringan dan fleksibel. Jenis ini dikenal juga dengan nama TFPV (*Thin Film Photovoltaic*).[22]



Gambar 2.6 *Thin Film PV Cell*

1. *Amorphous Silicon (a-Si)*

Solar CellsSel surya dengan bahan Amorphous Siliconini, awalnya banyak diterapkan pada kalkulator dan jam tangan. Namun seiring dengan perkembangan teknologi pembuatannya penerapannya menjadi semakin luas. Dengan teknik produksi yang disebut "stacking" (susun lapis), dimana beberapa lapis Amorphous Siliconditumpuk membentuk sel surya, akan memberikan efisiensi yang lebih baik antara 6% -8%. Jenis sel surya *Amorphous Thin Film* Uni-SolarPanel PVL 124 adalah sel surya yang akan digunakan pada tugas akhir ini. Panel surya ini memiliki rated power124W dengan tegangan maksimum 30V dan arus maksimum4,1 A.[22]

2. *Cadmium Telluride (CdTe)*

Solar CellsSel surya jenis ini mengandung bahan Cadmium Tellurideyang memiliki efisiensi lebih tinggi dari sel surya Amorphous Silicon, yaitu sekitar: 9% -11%.[22]

3. *Copper Indium Gallium Selenide (CIGS)*

Solar CellsDibandingkan kedua jenis sel surya thin filmdi atas, CIGS sel surya memiliki efisiensi paling tinggi yaitu sekitar 10% -12%. Selalin itu jenis ini tidak mengandung bahan berbahaya Cadmiumseperti pada sel surya CdTe.[22]

System Yield Dan Performance



Dalam setiap sistem pembangkit listrik tenaga surya yang akan dipasang, sangat penting untuk kita memperkirakan berapa total energi listrik yang akan dihasilkan oleh pembangkit listrik tersebut. Untuk itu pada system yield membahas perhitungan energi yang dihasilkan dari sel PV, apa saja hal yang mempengaruhi potensi energi dari sistem PV akan dijelaskan sebagai berikut:[10]

2.6.1 Faktor Yang Mempengaruhi Kinerja Sel PV

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja dari sel PV namun faktor utama yang mempengaruhinya adalah :[10]

- Ukuran dari PV Array
- Jumlah sinar matahari (*Irradiation*) yang diterima.
- Effisiensi total sistem (setelah dihitung semua kerugian).[10]

2.6.1.1 PV Array Size

Kapasitas terpasang dari PV array ditentukan oleh salah satu faktor berikut baik secara tunggal maupun secara kombinasi:[10]

- Spesifikasi tertentu dari PV yang akan dipasang.
- Anggaran keuangan yang tersedia.
- Lahan yang tersedia untuk membangun PLTS
- Persyaratan perencanaan yang berkaitan dengan sistem pembangkit.[10]

2.6.1.2 Irradiation

Data iradiasi matahari tergantung dari daerah dan dapat diakses dari sumber tertentu. Data tersebut dapat di akses melalui:[10]

- Pengukuran langsung melalui alat pengukur irradiasi matahari
- Situs resmi NASA Power
- Aplikasi resmi seperti PVSys, NSol, dan lain-lain.

Sumber sumber ini akan memberikan data terperinci dari berbagai situs. Namun mereka tidak mendapatkan data yang akurat karena adanya bayangan. Data yang tersedia harus dimodifikasi untuk memperhitungkan bayangan yang ada. Hal ini lah yang akan mempengaruhi letak dan orientasi kemiringan saat membangun panel surya.[10]

2.6.1.3 Effisiensi Pada Sistem



Ada banyak kerugian efisiensi energi yang terjadi pada modul PV sewaktu beroprasiannya saat mulai beroperasi sampai konversi DC ke AC yang terjadi pada inverter. Energi yield dapat memperhitungkan kerugian energi yang terjadi sehingga pada sistem yield energi yang dihasilkan dapat diperkirakan sebelumnya.[10]

2.6.2 Menghitung Energi Yield PV System

Berapa banyak energi yang akan dihasilkan dari satu PV modul dan berapa banyak modul yang digunakan untuk mencukupi energi yang dibutuhkan dapat dijelaskan sebagai berikut:[10]

2.6.2.1 Perhitungan Energi Dari Satu Modul PV

Rumus dasar untuk mendapatkan Energi Yield dapat dilihat pada persamaan berikut:[10]

$$P = q_{\text{rad}} \times p_{\text{max}} \times \text{Losses} \quad (2.1)$$

keterangan:

P = Energi litrik (kWh)

q_{rad} = Radiasi Matahari dalam PSH (kWh/m²/hari)

p_{max} = Daya maksimum (Watt)

Losses = Efisiensi yang hilang (%)

A. Irradiasi

Data iradiasi matahari pada energi yield baik dalam perhari, perbulan atau pertahun tergantung dari data yang dibutuhkan. Jika dalam harian, data iradiasi matahari dalam satuan kusus yaitu PSH (*peak sun hours*) maka energi yield yang dihitung dalam satu perhari pula. Satuan iradiasi matahari dalam watt hours per meter persegi perhari (kWh/m²/hari) artinya besar energi iradiasi matahari dalam watt pada 1 meter persegi dalam satu hari jika data yang digunakan dalam hitungan perhari.[10]

B. PV Modul Array

Persamaan di atas dapat digunakan untuk menentukan energy yield dalam satu modul PV, atau PV array dengan spesifikasi tertentu. Yang harus diperhatikan pula bahwa daya modul PV harus dalam kW untuk menghindari kesalahan perhitungan. Jika daya pada modul PV dalam W, maka dalam perhitungan akhir dalam Wh (biasanya angka yang cukup besar). Jika daya modul PV diubah dalam kW, maka dalam perhitungan akhir daya modul dalam kWh.[10]

C. Losses Energy (Kerugian Energi)

1. Disamping mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Catatan pertama untuk *losses energy* adalah bahwa setiap modul PV tidak mungkin memiliki efisiensi sebesar 100%. Oleh karena itu, semua faktor yang mempengaruhi efisiensi pada modul PV harus diperhitungkan. Efisiensi dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti bayangan, toleransi material, suhu, penurunan tegangan, efisiensi inverter, orientasi, kemiringan modul dan pengotoran yang disebabkan oleh debu. Hal yang tak kalah mempengaruhi efisiensi lainnya adalah faktor lokasi. Kerugian ini dapat dibedakan menjadi kategori sebagai berikut:[10]

1. Terjadi pada PV array (suhu, pengotoran, bayangan, toleransi material).
2. Terjadi pada sistem (penurunan tegangan, efisiensi inverter dan lain-lain).

Total keluaran efisiensi energi akhir pada PV dapat dihitung dengan mengurangi semua kerugian efisiensi yang terjadi pada sistem tersebut. [10]

2.6.2.2 Perhitungan Efisiensi Sel PV

Efisiensi listrik pada sel PV dapat diberikan pada persamaan dibawah ini sebagai fungsi dari efisiensi pada suhu lingkungan, referensi efisiensi pada sel PV, suhu sel PV dan koefisien termal pada sel PV. [13]

$$\eta_{pv} = \eta_{ref} [1 - \beta_{ref} (T_{pv} - T_{ref})] \quad (2.2)$$

Keterangan:

η_{pv} = Efisiensi PV (%)

η_{ref} = Efisiensi PV *Standart Test Condition* (STC) (%)

β_{ref} = Thermal PV

T_{pv} = Temperatur PV (K)

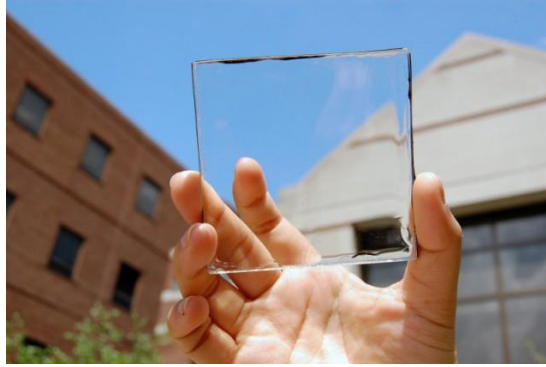
T_{ref} = Temperatur lingkungan (K)

2.7 Solar Window Semitransparent Panels

Pemanfaatan sumber energi terbarukan belakangan ini memang sedang banyak dikembangkan oleh pakar teknologi dunia. Selain karena dapat menggantikan ketergantungan dari pemakaian energi bersumber dari bahan bakar fosil, energi terbarukan juga memiliki ketersediaan energi yang masih melimpah terutama energi matahari. Untuk pembangkitnya sendiri, para ilmuwan belakangan ini telah menemukan teknologi baru dari sistem solar panel yaitu solar window yang berpotensi menjadi trend dipasaran energi dalam beberapa tahun kedepan. Solar Window pertamakali dikembangkan oleh *New Energy Technologies*, dan baru-baru ini mendemonstrasikan *Solar Window* ini di University of South Florida.[23]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.7 Transpatent PV Cell

Sebagaimana solar panel pada umumnya, *solar window* ini selain dapat menghasilkan energi listrik, teknologi ini juga dapat membantu mengurangi penggunaan listrik dari sektor penerangan. Hal ini karena solar window memiliki material yang tranparan sehingga memungkinkan cahaya masuk kedalam ruangan. Walaupun pada umumnya hanya memiliki ketebalan sekitar 10 mm, setiap meter persegi kaca ini dapat menghasilkan listrik sekitar 70 Watt tenaga listrik. Teknologi ini 10 kali lebih efisien dari pada teknologi film-tipis panel surya.[23]

Prinsip kerjanya sama seperti pada nenel surya pada umumnya. Pada *solar window* juga terdapat dua atom elektrolit ang berbeda dimana atom tersebut akan bergerak jika mengenai sinar matahari sehingga menghasilkan arus listrik. Permukaan dalam kaca dilapisi dengan lapisan kimia photosensitiser yang berfungsi menangkap sinar matahari untuk kemudia diteruskan ke film titanium dioksida yang akan mentransfer electron yang terlepas dari sirkuit eksternal sehingga listrik dapat dihasilkan.[23]



Gambar 2.8 Kontriksi Bangunan Menggunakan Solar PV Glass

Desain Solar window ini dapat baragam tergantung pada lokasi bangunan dan kondisi iklim disuatu wilayah. Seperti di amerika serikat, memaksimalkan panas yang ada pada musim dingin dan memindahkannya pada musim panas. Pada iklim dengan pemanasan



didominasi, umumnya menggunakan jendela dengan orientasi arah ke selatan untuk mengumpulkan panas matahari rendah di langit. Saat musim panas dan ketika matahari tinggi di langit, peralatan pelindung seperti tirai dapat mencegah panas berlebihan masuk ke dalam ruangan. Kaca jendela dengan emisivitas rendah dapat membantu menegndalikan mendapatkan panas matahari dan kerugian yang terjadi pada iklim panas. Sedangkan pada daerah dengan iklim pendinginan lebih mendominasi, penggunaan kaca jendela yang menghadap kearah utara menjadi strategi alternatif. Jenis kaca jendela yang baik digunakan adalah dengan tingkat emisivitas yang rendah, lebih berwarna dan reflektif.[23]

Dengan menggunakan panel surya yang digabungkan dengan kaca jendela secara konstriksi akan lebih mudah dari instalasi dan biaya pemasangannya jug akan lebih rendah dibandingkan dengan memasang panel surya diatas atap. Namun karena berbahan semitransparan membuat solar window memiliki efisiensi yang lebih rendah dari pada sel PV pada umumnya. Estimasi biaya sangat kecil pada pada solar window ini dan memberikan potensi yang sangat besar terhadap Negara dengan iklim yang cerah. Kedepannya, produk ini akan menjadi langkah baru menuju bangunan dengan *zero-emission* yang telah banyak diusulkan oleh Negara pendukung energi bersih.[23]

2.8 Mekanisme Perpindahan Panas

Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai berpindahnya energi dari satu tempat ke tempat lain karena adanya perbedaan suhu antara kedua tempat tersebut. Dalam hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi tidak dapat musnah sama halnya seperti hukum asas lainnya, yaitu kekekalan masa dan momentum, ini artinya energi panas tidak menghilang. Energi hanya berubah bentuk dari bentuk yang pertama ke bentuk yang ke dua. Seperti yang dijelaskan di depan bahwa energi panas ini dapat mengalir jika terdapat suatu perbedaan suhu. Hal ini bisa dilihat dari sepotong logam yang di celupkan kedalam suatu fluida air dalam suatu wadah, bila suhu logam adalah T_1 dan jauh lebih tinggi dari suhu air T_2 , karena suhu awal logam $T_1 > T_2$ maka dapat dikatakan bahwa suhu air lebih dingin dari logam, sudah jelas pada akhir prosesnya suhu air meningkat dan akan lebih besar dari suhu awal air itu sendiri. Hal terpenting dari keadaan ini adanya perbedaan suhu yang nyata antara kedua benda tersebut yang dinyatakan dalam bentuk beda suhu ($T_1 - T_2$).[24]

Proses perpindaan energi panas dari suatu benda ke benda lainnya dapat terjadi melalui tiga cara perpindahan, yaitu cara konduksi atau sering disebut juga dengan istilah hantaran, cara radiasi atau pancaran dan perpindahan panas dengan cara konveksi. Di alam



nyata, proses perpindahan panas atau aliran panas dapat berlangsung dengan cara lebih dari satu proses perpindahan yang terjadi secara bersamaan.[24]

2.8.1 Konduksi

Konduksi panas adalah perpindahan energi panas antar dua benda yang saling bersentuhan. Dalam hal ini, panas akan berpindah dari benda yang suhunya lebih tinggi ke benda yang suhunya lebih rendah. Laju aliran panas dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain luas permukaan benda yang saling bersentuhan, perbedaan suhu awal antara kedua benda dan konduktivitas panas dari kedua benda tersebut. Konduktivitas panas adalah tingkat kemudahan untuk mengalirkan panas yang dimiliki oleh suatu benda. Setiap benda memiliki konduktivitas yang berbeda.[24]

Proses perpindahan panas secara konduksi bila dilihat secara teori atom adalah merupakan pertukaran energi kinetik antara molekul atau atom, dimana molekul partikel yang energinya lebih rendah dapat meningkat dengan adanya tumbukan terhadap partikel lain yang memiliki energi lebih tinggi. Bila kondisi suhu T_1 dan T_2 dipertahankan terus nilainya, maka kesetimbangan energi termal tidak akan pernah tercapai, dan dalam keadaan mantap (*steady state*), panas yang mengalir persatuan waktu sebanding dengan luas penampang permukaan pindah panas A , sebanding dengan perbedaan suhu $\Delta T = T_1 - T_2$ dan berbanding terbalik dengan lebar bidang Δx . besarnya aliran panas dihitung berdasarkan persamaan berikut :[24]

$$\Delta Q = k A \Delta T / \Delta x \quad (2.3)$$

Dimana :

k = Konduktivitas Termal (W/m^2)

A = luas permukaan (m)

ΔT = perbedaan suhu ($^{\circ}C$)

Δx = jarak benda (m)

Pada perpindaahan panas secara konduksi, panas mengalir tanpa disertai gerakan zat atau benda, tetapi melalui suatu jenis zat. Arah aliran energi panas dari titik dengan suhu tinggi ke titik bersuhu rendah. Semua bahan dapat menghantarkan panas, tetapi tidak semua bahan sama sempurna dalam daya hantar panas. Untuk konduktor, adalah bahan yang dapat menghantarkan panas dengan baik, sedangkan bahan isolator merupakan penghantar panas yang buruk.[24]



Daya hantar panas bahan ditentukan oleh koefisien atau konstanta konduktivitas termal (k). Konduktivitas suatu bahan dapat menerangkan bahan tersebut sebagai konduktor atau isolator, disamping itu untuk menjelaskan besaran besaran kecepatan aliran panas suatu bahan. Nilai K bahan konduktor lebih besar dari nilai K bahan isolator.[24]

Perpindahan panas konduksi didasari oleh hukum fourier yang dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :[24]

$$q = -k A \frac{dT}{dx} \quad (2.4)$$

Dimana:

q = laju perpindahan panas (watt/m² °C)

dT/dx = gradient suhu kearah perpindahan panas (°C)

A = luas permukaan pindah panas (m²)

Dengan demikian persamaan konduksi panas mendefinisikan tahanan terhadap konduksi panas k adalah konduktivitas panas suatu zat, yang besarnya tergantung pada temperatur zat itu. Biasanya perubahan k dapat diperkirakan dengan fungsi linier.[24]

Tabel 2.1 Nilai Konduktivitas Panas Beberapa Bahan.[24]

No	Bahan	Termal Konduktivitas k (W/m.C ⁰)
1	Aluminium	238,000
2	Tembaga	397,000
3	Emas	314,000
4	Besi	79,500
5	Timbal	34,700
6	Perak	427,000
7	Asbestos	0,080
8	Concrete	0,800
9	Gelas	0,800
10	Karet	0,200
11	Air	0,600
12	Kayu	0,080
13	Udara	0,023

2.8.2 Konveksi



Perpindahan panas antara suatu permukaan padat dan suatu fluida berlangsung secara konveksi. Konveksi panas dapat dihitung dengan persamaan :[24]

$$Q = A h (T_s - T_{\infty}) \quad (2.5)$$

Dimana:

Q = laju perpindahan panas (Watt/m²)

A = luas area perpindahan panas (m²)

T_o = Temperatur awal (°C)

T_{∞} = Temperatur seterusnya. (°C)

Persamaan diatas mendefinisikan tahanan panas terhadap konveksi. Koefisien pindah panas permukaan h , bukanlah suatu sifat zat, akan tetapi menyatakan besarnya laju pindah panas didaerah dekat pada permukaan itu.[24]

Dalam perpindahan panas konveksi sering digunakan istilah-istilah sebagai berikut:

- Fluks panas adalah laju perpindahan panas persatuan luas (q/A). fluks panas boleh didasarkan atas luas permukaan luar atau dalam pipa.
- Suhu arus rata-rata adalah suhu yang dicapai apabila keseluruhan fluida yang mengalir melalui penampakan itu dikelaurkan lalu dicampur secara adiabatik.
- Koefisien perpindahan kalor menyeluruh adalah bila perpindahan panas terjadi secara konduksi dan konveksi secara beruntun. Maka sebagai tahanan panasnya dapat dijumlahkan untuk memperoleh koefisien pindah panas keseluruhan.[24]

2.8.3 Radiasi

Pada proses radiasi, energi termal diubah menjadi energi radiasi. Energi ini termuat dalam gelombang elektromagnetik, khususnya daerah inframerah (700 nm-100 µm).saat gelombang elektromagnetik tersebut berinteraksi dengan materi energi radiasi berubah menjadi energi termal. Untuk benda hitam, radiasi termal yang dipancarkan per satuan waktu per satuan luas pada temperatur mutlak T (°K atau °R) adalah:[24]

$$E = e \sigma T^4 \quad (2.6)$$

Dimana :

σ = konstanta biltzmann : $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$

e = emitansi ($0 \leq e \leq 1$)

T = suhu mutlak (°C)

yang dimaksud dengan perpindahan panas radiasi adalah perpindahan panas melalui gelombang dari suatu zat ke zat lain. Semua benda memancarkan panas. Pada hakikatnya



proses perpindahan panas secara radiasi terjadi dengan perantaran foton dan juga gelombang elektromagnet. Semua bahan pada suhu mutlak tertentu akan menyinari sejumlah energi panas yang disinarkan. Proses radiasi adalah fenomena permukaan, dan tidak terjadi pada bagian dalam bahan. Apabila sejumlah energi panas menimpa suatu permukaan, sebagian akan dipantulkan, sebagian akan diserap kedalam bahan, dan sebagian akan menembus bahan dan tembus keluar, jadi dalam mempelajari perpindahan panas radiasi akan dilibatkan suatu bentuk fisik suatu permukaan bahan.[24]

Bahan yang dianggap mempunyai ciri sempurna dalam proses radiasi adalah benda hitam. Disamping itu, sama seperti cahaya lampu, adakalanya tidak semua sinar mengenai permukaan yang dituju. Jadi dalam masalah perpindahan panas radiasi dikenal suatu faktor yang disebut dengan faktor bentuk.[24]

Maka jumlah panas yang diterima dari suatu sumber akan berbanding langsung sebagian terhadap factor bentuk ini. Dalam pada itu, sifat termal permukaan bahan itu juga penting. Berbeda dengan proses konveksi, medan aliran fluida diseliling permukaan tidak penting, yang penting adalah sifat termal saja. Dengan demikian, untuk memahami proses radiasi dari satu permukaan kita perlu memahami juga keadaan fisik permukaan bahan yang terlibat dengan proses radiasi yang berlaku. Proses perpindahan panas sering terjadi serentak, misalnya sekeping plat yang permukaan nya dicat hitam, lalu dikenakan sinar matahari. Plat akan menyerap sebagian energi matahari. Suhu plat akan naik sampai pada suhu suatu suhu tertentu. [24]

Keterlibatan suhu akan terjadi jika terdapat dua permukaan yang mempunyai suhu yang berbeda. Dalam hal ini, setiap permukaan akan menyinarkan energi panas secara radiasi jika permukaan bahan itu memiliki suhu mutlak T . umumnya bila terdapat satu permukaan yang saling berhadapan, dan jika permukaan pertama mempunyai suhu mutlak T_1 sedangkan permukaan kedua memiliki suhu mutlak T_2 , maka permukaan tadi akan saling memindahkan panas. Pada perpindahan panas radiasi, dimana panas merambat secara lurus dan dalam rambatan panas tidak diperlukan medium.[24]

2.9 Pemodelan dan Simulasi

2.9.1 Model

Model merupakan representasi sistem dalam kehidupan nyata yang menjadi fokus perhatian dan pokok permasalahan yang akan diangkat. Pemodelan didefinisikan sebagai



proses pembentukan model dari sistem tersebut dengan menggunakan bahasa formal

tentu. Pengembangan suatu model dapat dilakukan dengan menggunakan aturan-aturan

sebagai berikut:[25]

1. Laborasi

Pengembangan model sebaiknya dimulai dari yang paling sederhana dilanjutkan secara bertahap dielaborasi menjadi model yang representatif. Penyederhaan permasalahan dapat dilakukan dengan menggunakan asumsi-asumsi yang diperlukan, sesuai dengan tujuan pembuatan model.

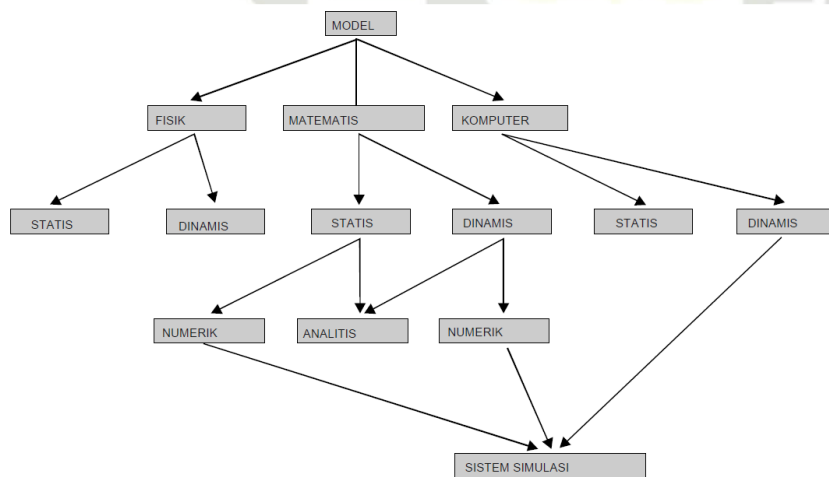
2. Analogi

Pengembangan model dapat dilakukan dengan menggunakan prinsip-prinsip dan teori-teori yang sudah dikenal luas.

3. Dinamis

Pengembangan model bukanlah suatu proses mekanis dan linier, sehingga dalam tahap pengembangannya mungkin saja terdapat proses pengulangan.[25]

Pemodelan dilakukan untuk menjelaskan sekumpulan fakta karena belum ada teori mencari konfirmasi, bila telah ada teori sebagai alat pengambilan keputusan. Keuntungan menggunakan model ialah dapat melakukan percobaan pada situasi yang kompleks, hemat biaya, hemat waktu, dan fokus pada karakteristik penting permasalahan.[25]



Gambar 2.9 Alur Pemodelan

Jenis-Jenis Model, diantaranya:[25]

1. Model Fisik

Model fisik terbagi menjadi dua yaitu:



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

a. Model Fisik Statis

Model fisik stasis adalah model yang skalanya di perkecil dari suatu sistem yang dilakukan tidak di pengaruhi oleh waktu.

Contoh : Seorang arsitek sebelum membangun sebuah bangunan, arsitek akan membuat sebuah model bangunan tersebut dalam bentuk skala kecil.

b. Model Fisik Dinamis

Model fisik dinamis adalah model yang berubah seiring waktu atau fungsi waktu.

Contoh : Dalam terowongan angin, model pesawat kecil (model statis) disimpan dan udara dihembus dengan kecepatan yang berbeda dan profil tekanan diukur dengan bantuan pengukur tekanan yang terdapat dalam model. Di sini kecepatan angin berubah seiring waktu.[25]

Model Matematis

Model matematis adalah model dengan menggunakan permasalahan matematika dari sistem yang diamati. Terbagi menjadi dua yaitu:

- a. Model Statis Matematis, yakni model matematis dari sistem yang tidak dipengaruhi waktu.
- b. Model dinamis matematis, yakni model matematis dari sistem yang berpengaruh terhadap waktu.[25]

Model Komputer

Model komputer merupakan perkembangan dalam pemodelan karena seluruh model matematis baik statis dan dinamis dapat dimodelkan secara lebih baik dan mudah melalui komputer.[25]

2.9.2 Simulasi

Simulasi merupakan tiruan dari sebuah sistem dinamis dengan menggunakan model komputer untuk melakukan evaluasi dan meningkatkan kinerja sistem. Menurut Law dan Kelton, simulasi didefinisikan sebagai sekumpulan metode dan aplikasi untuk menirukan atau merepresentasikan perilaku dari suatu sistem nyata, yang biasanya dilakukan pada komputer dengan menggunakan perangkat lunak tertentu. Sedangkan menurut Shannon dalam , simulasi merupakan proses perancangan model dari sistem nyata yang dilanjutkan dengan pelaksanaan eksperimen terhadap model untuk mempelajari perilaku sistem atau evaluasi strategi.[25]



2.9.3 Struktur Dasar Model Simulasi

Sebelum proses pembuatan model dimulai, yang pertama dilakukan yaitu harus memahami tentang struktur *building blok* dari mana model tersebut dibangun. Walaupun model yang akan dibuat sangat kompleks, pada dasarnya struktur dasarnya sangat sederhana. Setiap model umumnya akan terdiri dari beberapa unsur berikut:[25]

1. Komponen-komponen model: yaitu merupakan entitas yang membentuk model. Entitas ini didefinisikan sebagai objek sistem yang menjadi pokok perhatian.
2. Variabel : yaitu nilai yang selalu berubah.
3. Parameter: yaitu nilai yang tetap pada suatu saat, tapi dapat berubah di waktu yang lain.
4. Hubungan fungsional: yaitu memberikan hubungan antar komponen-komponen model.
5. Konstrain: yaitu batasan dari masalah yang dihadapi. [25]

2.9.4 Langkah – langkah Model Simulasi

Dalam melakukan model simulasi terdapat langkah-langkah yang perlu dilakukan :

1. Pendefinisian sistem, menentukan batasan sistem dan identifikasi variabel yang signifikan.
2. Formula model, yakni merumuskan hubungan antar komponen model.
3. Pengambilan data, yakni identifikasi data yang diperlukan model sesuai tujuan pembuatannya.
4. Pembuatan model, yakni menyesuaikan penyusunan model dengan jenis bahasa simulasi yang digunakan.
5. Verifikasi model, yakni proses pengecekan terhadap model apakah sudah bebas dari kesalahan. Dalam tahap ini perlu disesuaikan dengan bahasa simulasi yang digunakan.
6. Validasi Model, yakni proses pengujian terhadap model apakah sudah sesuai dengan sistem nyatanya.
7. Skenariosasi, yaitu penyusunan skenario terhadap model. Setelah model dianggap valid, maka berikutnya adalah membuat beberapa skenario atau eksperimen untuk memperbaiki kinerja sistem sesuai dengan keinginan. [25]

Secara umum jenis-jenis skenario adalah:

- a. Skenario parameter



Dilakukan dengan mengubah nilai parameter model, skenario jenis ini mudah dilakukan karena kita hanya melakukan perubahan terhadap nilai parameter model dan melihat dampak terhadap *output*.

b. Skenario struktur

Dilakukan dengan mengubah struktur model. Skenario jenis ini memerlukan pengetahuan yang cukup tentang sistem agar struktur baru yang diusulkan dan dieksperimenkan dapat memperbaiki kinerja sistem.

9. Interpretasi model, yakni proses penarikan kesimpulan dari hasil *output* model simulasi.

10. Implementasi, yakni penerapan model pada sistem nyata.

10. Dokumentasi, yakni proses penyimpanan hasil *output* model.[25]

2.9.5 Manfaat Model Simulasi

Model simulasi merupakan *tool* yang cukup fleksibel untuk memecahkan masalah yang sulit untuk dipecahan atau diselesaikan dengan model matematis biasa. Model simulasi sangat efektif digunakan untuk sistem yang relatif kompleks untuk pemecahan analitis dari model tersebut. Karena itu, manfaat yang didapat dengan menggunakan metode simulasi adalah sebagai *tool* bagi perancang sistem atau pembuat keputusan. Adapun kelebihan model simulasi yaitu:[25]

1. Tidak semua sistem dapat dipresentasikan dalam model matematis, simulasi merupakan alternatif yang tepat.
2. Dapat bereksperimen tanpa adanya resiko pada sistem nyata, dengan simulasi memungkinkan untuk melakukan percobaan terhadap sistem yang sedang berjalan tanpa menanggung resiko terhadap sistem tersebut.
3. Simulasi dapat mengestimasi kinerja sistem pada kondisi tertentu dan memberikan alternatif desain terbaik sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan
4. Simulasi memungkinkan untuk melakukan studi jangka panjang dalam waktu relatif singkat dan dapat menggunakan *input* data yang bervariasi. [25]

Adapun kekurangan model simulasi yaitu:

1. Kualitas dan analisis model tergantung pada si pembuat model.
2. Hanya mengestimasi karakteristik sistem berdasarkan masukan tertentu.[25]



2.10 COMSOL Multiphysics

Comsol Multiphysics adalah piranti interaktif yang baik untuk pemodelan dan pemecahan semua jenis masalah ilmiah dan rekayasa berdasarkan persamaan *diferensial parsial* (PDE). Dengan perangkat lunak ini Anda dapat dengan mudah membuat pemodelan *konvensional* untuk satu tipe ilmu fisika ke dalam model multipisika yang memecahkan fenomena fisika dan menyelesaikannya secara bersamaan.[26]



Gambar 2.10 Comsol Multhipysics 5.3a [26]

Menjalankan prangkat tidak memerlukan pengetahuan mendalam tentang matematika atau analisis numerik. Berkat model fisika yang sudah ada didalamnya dan memungkinkan untuk membangun model dengan menentukan jumlah fisik yang relevan seperti properti material, beban, kendala, sumber, dan *fluks* dibandingkan dengan menentukan persamaan-persamaan matematika dasarnya. Anda langsung bisa menerapkan variabel, lambang atau angka secara langsung ke bidang padat, batas, tepi dan titik secara bebas dalam komputasi. *Comsol Multiphysics* kemudian secara internal menyusun perangkat PDEs yang mewakili keseluruhan model. Anda akan mengakses kekuatan COMSOL *Multiphysics* sebagai produk yang berdiri sendiri melalui antarmuka pengguna grafis yang fleksibel atau dengan pemrograman melalui bahasa tulisan COMSOL atau dalam bahasa MATLAB. [26]

Dengan menggunakan mode aplikasi ini, Anda dapat melakukan berbagai jenis analisis termasuk:

- 1 Analisis *stasioner* (*time independen*) dan tergantung waktu (*time dependent*)
- 2 Analisis *linier* dan *non-linier*
- 3 *Eigenfrekuensi* dan analisa pengendaaian

Ketika memecahkan PDEs, COMSOL *Multiphysics* menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method*) atau (FEM). Perangkat lunak ini menjalankan analisis elemen hingga bersama dengan jaringan adaptif dan mengontrol error menggunakan



berbagai pemecah numerik. PDEs membentuk dasar untuk hukum ilmu pengetahuan dan menyediakan landasan untuk pemodelan berbagai fenomena ilmiah dan rekayasa. Oleh karena itu Anda dapat menggunakan COMSOL *Multiphysics* di banyak area aplikasi diantaranya reaksi kimia, mekanika kuantum, perambatan gelombang, dinamika fluida dan lain sebagainya.[26]

Ada banyak aplikasi di dunia nyata yang melibatkan penghubung secara bersamaan pada sistem PDE multi-fisika. Sebagai contoh hambatan listrik pada konduktor sering bervariasi tergantung suhu dan model konduktor yang membawa arus mencakup efek pemanasan *resistif*. Dalam konfigurasi dasarnya, Comsol *Multiphysics* menawarkan pemodelan dan kekuatan analisis untuk banyak bidang aplikasi. Untuk beberapa bidang aplikasi selalu disediakan modul-modul pilihan. Modul khusus aplikasi ini menggunakan metode terminologi dan metode penyelesaian khusus untuk beberapa ilmu tertentu, yang menyederhanakan pembuatan dan analisis model. Modul-modul dalam COMSOL 3.4 meliputi: [26]

1. Modul C/DC
2. Modul Akustik
3. Modul teknik kimia
4. Modul ilmu bumi
5. Modul perpindahan panas
6. Modul MEMS
7. Modul RF
8. Modul mekanika structural.

Anda dapat membangun model dari berbagai jenis tipe di dalam Comsol *Multiphysics* menggunakan *interface* atau antarmuka. Untuk tambahan *fleksibility*, COMSOL juga menyediakan bahasa tulisan sendiri. Ketika kamu mengakses modul sebagai M-file model atau struktur data. Comsol *Multiphysics* juga menyediakan *interface* tanpa sambungan ke MATLAB, yang memberikan kebebasan dan mengkombinasikan dasar pemodelan PDE, simulasi dan analisis dengan teknik pemodelan lainnya yang memungkinkan menghasilkan model dalam comsol dan kemudian mengekspornya ke simulik sebagai perancangan sistem control.[26]

2.11 Finite Elemen Method



- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Finite elemen method atau metode elemen hingga (FEM) adalah metode yang paling banyak digunakan untuk memecahkan suatu masalah teknik dan model dalam matematis. Banyak masalah yang diminati meliputi tradisional analisis struktur, perpindahan panas, aliran fluida, transportasi massa dan electromagnetic potensial. FEM adalah metode numerik tertentu untuk menyelesaikan persoalan dari permasalahan diferensial parsial dalam suatu atau beberapa variable ruang (berapa masalah nilai batas). Untuk menyelesaikan suatu masalah, FEM membagi sistem besar menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dan lebih sederhana yang disebut elemen hingga. Ini dicapai dengan diskritisasi ruang tertentu dalam dimensi ruang, yang diimplementasikan dengan konstruksi jaring objek: domain numerik untuk solusi, yang memiliki jumlah titik yang terbatas. Rumusan metode elemen hingga dari masalah nilai batas akhirnya menghasilkan sistem persamaan aljabar. Metode ini mendekati fungsi yang tidak diketahui melalui domain. Persamaan sederhana yang memodelkan elemen hingga ini kemudian dirakit menjadi sistem persamaan yang lebih besar yang memodelkan keseluruhan soal. FEM kemudian menggunakan metode variasional dari kalkulus variasi untuk mendekati solusi dengan meminimalkan fungsi kesalahan terkait.[27]



BAB III METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Penelitian tugas akhir ini berbentuk pemodelan menggunakan *software* berdasarkan dengan model yang semestinya dengan masukan nilai berdasarkan keadaan nyata seperti intensitas cahaya matahari dikota Pekanbaru Riau. Beberapa data lain yang dibutuhkan dalam penelitian ini selain intensitas cahaya kota pekanbaru diantaranya suhu rata-rata wilayah kota pekanbaru. Data tersebut berguna sebagai parameter masukan dari pemodelan simulasi.

Lokasi Penelitian

Kota Pekanbaru sebagai Ibukota Provinsi Riau telah berkembang dengan pesat seiring dengan kemajuan pembangunan dewasa ini. Secara administrasi Kota Pekanbaru dipimpin oleh Walikota dan bertanggung jawab langsung kepada Gubernur sebagai Kepala Daerah Tingkat I Riau. Kota Pekanbaru didalam melaksanakan roda Pemerintahan dan pembangunan menjadi harapan untuk dapat menjawab setiap permasalahan dan tantangan yang muncul sesuai dengan perkembangan sosial ekonomi, politik dan lainnya dalam masyarakat. Keberadaan Kota Pekanbaru merupakan dasar dekonsentrasi sebagaimana dimaksud dalam Perda Kota Pekanbaru No. 4 Tahun 2016, Kota Pekanbaru dibagi atas 12 (dua belas) Kecamatan yang terdiri dari 83 Kelurahan.[6]

Secara geografis kota Pekanbaru memiliki posisi strategis berada pada jalur Lintas Timur Sumatera, terhubung dengan beberapa kota seperti Medan, Padang dan Jambi, dengan wilayah administratif, diapit oleh Kabupaten Siak pada bagian utara dan timur, sementara bagian barat dan selatan oleh Kabupaten Kampar.[6]

Rata-rata Suhu minimum perbulan dikota pekanbaru sebesar $26,80^{\circ}\text{C}$ terjadi pada bulan Januari dan November, sedangkan suhu maksimum sebesar $20,60^{\circ}\text{C}$ terjadi pada bulan Februari. Kelembaban Udara minimum Rata-rata dikota Pekanbaru sebesar 74,00% terjadi pada bulan Agustus sedangkan kelembaban udara maksimum sebesar 84,00% terjadi pada bulan November. Tekanan udara dikota pekanbaru sebesar antara 1.010,0 mb sampai 1.008,9 mb dan penyinaran matahari sebesar 25 % sampai 69 % menurut bulan di kota Pekanbaru tahun 2017.[6]



3.3 Prosedur Penelitian

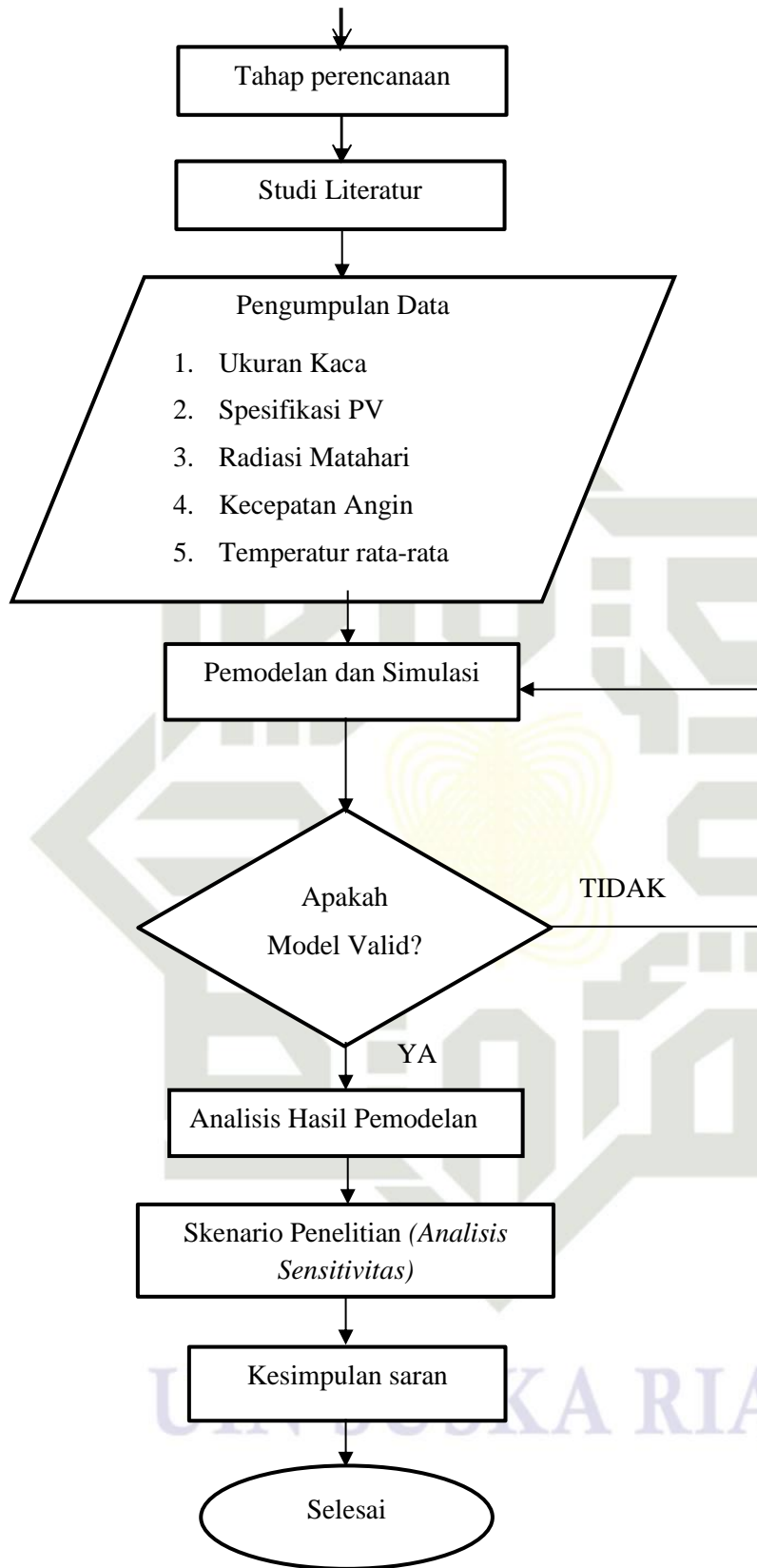
Penelitian tugas akhir ini dibagi menjadi beberapa tahap berdasarkan alur penelitian sebelumnya. Tahap pertama dalam penelitian ini adalah membaca jurnal-jurnal, buku dan paper penelitian guna untuk mendapatkan permasalahan yang akan diangkat menjadi topik penelitian dan teori-teori yang relevan. Tahap berikutnya dari penelitian adalah menentukan jenis penelitian yang dilakukan untuk memecahkan permasalahan. Pada penelitian tugas akhir ini, jenis penelitian yang dilakukan adalah simulasi pemodelan. Setelah mendapatkan permasalahan ilmiah dan jenis penelitian, langkah berikutnya ialah mencari sumber-sumber data yang diperlukan untuk memecahkan masalah penelitian. Pencarian data berupa data sekunder dan data primer sebagai masukan dari pengolahan data hingga menemukan hasil dari penelitian. Pengolahan data berdasarkan dari jenis penelitian yaitu simulasi pemodelan, dengan bantuan *software Comsol Multiphysics* penelitian dapat dilaksanakan dengan menginput masukan dari data sekunder dan data primer.

Setelah melakukan pemodelan, maka akan dilakukan pengujian dari pemodelan dan data yang telah dimasukan. Apabila proses pengujian berjalan lancar dan simulasi menunjukkan hasil yang diinginkan maka penelitian dapat dikatakan berhasil. Setelah semua penelitian berjalan lancar dan berhasil maka ditahap akhir membuat kesimpulan dan saran dari penelitian yang dilakukan. Adapun tahap-tahap dan alur penelitian dapat digambarkan seperti berikut



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian



Dalam penelitian ini tahap perencanaan dapat dijelaskan sebagai berikut:

3.1 Identifikasi masalah

Penggunaan energi semakin hari semakin meningkat dan di iringi dengan keterbatasan bahan bakar energi yang umumnya bersumber dari bahan bakar fosil yang ketersediaannya semakin lama semakin menipis membuat manusia harus memikirkan cara untuk memenuhi kebutuhan energi listrik. Khususnya di daerah kota pekanbaru yang konsumsi energinya meningkat dari tahun ketahun yang di prediksi bahwa pada tahun 2024 kota pekanbaru mengkonsumsi energi sebesar 4.060,47 GWh secara keseluruhan dari semua sektor konsumsi energi. berdasarkan besarnya radiasi matahari yang menyinari wilayah Kota Pekanbaru maka jendela pada suatu bangunan menjadi solusi untuk permasalahan energi yaitu dengan mengkombinasikannya dengan sel PV.[3]

3.2 Rumusan masalah

Dengan identifikasi masalah diatas maka rumusan masalah yang dapat di ambil adalah bagaimana cara mengkombinasikan kulit luar bangunan dengan sel PV atau *Solar Window Semitransparent Photovoltaic Panels* dan bagaimana menganalisanya sehingga mendapatkan potensi energi yang baik untuk kota Pekanbaru.

3.3 Tujuan

Dangan demikian maka tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan pemodelan sistematis fasad bangunan yang dikombinasikan dengan sel PV menggunakan software bantu Comsol Multiphysics dan menganalisis potensi energi listrik dari pemodelan *Solar Window Semitransparent Photovoltaic Panels* di kota Pekanbaru.

3.4 Manfaat

Dengan adanya penelitian jendela yang dikombionasikan dengan sel PV diharapkan mampu untuk mengatasi permasalahan energi saat ini dan dapat diterapkan dalam bentuk nyata sehingga penggunaan energi yang bersumber dari bahan bakar fosil dapat berkurang.

3.5 Studi Literatur

Untuk membantu dalam proses mencari permasalahan, data dan teori-teori dalam penelitian perlu melakukan pembacaan dari beberapa referensi seperti jurnal, paper, buku dan lain-lain yang berkaitan dengan penelitian pemodelan jendela kaca ganda dan *cell photovoltaic* menggunakan *Software Comsol Multyphysics 5.3*

3.6 Pengumpulan Data

Beberapa nilai yang diperlukan untuk masukan pada penelitian diantaranya:



3.6.1 Spesifikasi Sel Pv

Spesifikasi sel PV berguna untuk mendapatkan potensi energi listrik karena setiap sel PV mempunyai material bahan yang berbeda dan mempengaruhi efisiensi kerja sel PV. Dalam penelitian ini sel PV yang digunakan adalah sel PV semitransparan dikarenakan penelitian yang dilakukan berada pada fasad bangunan. Sel PV semitransparent menggunakan material *Silicon Amorphous* dengan spesifikasi dapat dilihat pada table 3.1.

Tabel 3.1. Data spesifikasi Sel PV (*silicone Amorphous*).[28]

No	Spesifikasi	Nilai
1	Mass density	2.285 Kg/m ³
2	Specific heat	700 J/kg.k
3	Thermal conductivity	0.25 W/m.K
4	Nilai R	0.6
5	P Max	127 Wp
6	Efficincy	7.9%
7	Ketebalan	3 mm

3.6.2 Intensitas Radiasi Matahari

Nilai masukan dari data skunder berupa radiasi matahari daerah kota Pekanbaru Riau yang didapatkan dari situs resmi PV watt Calculator. Intensitas radiasi matahari diperlukan untuk menghitung daya yang dihasilkan dari *cell photovoltaic* dalam *watt peak*. Data dapat diakses dengan cara memasukan koordinat lokasi *latitude* dan *longitude* kota pekanbaru yaitu 0,510440 dan 101,438309. Karena pada penelitian ini sell PV ditempatkan pada jendela bangunan maka orientasi kemiringan sel PV sebesar 90⁰.

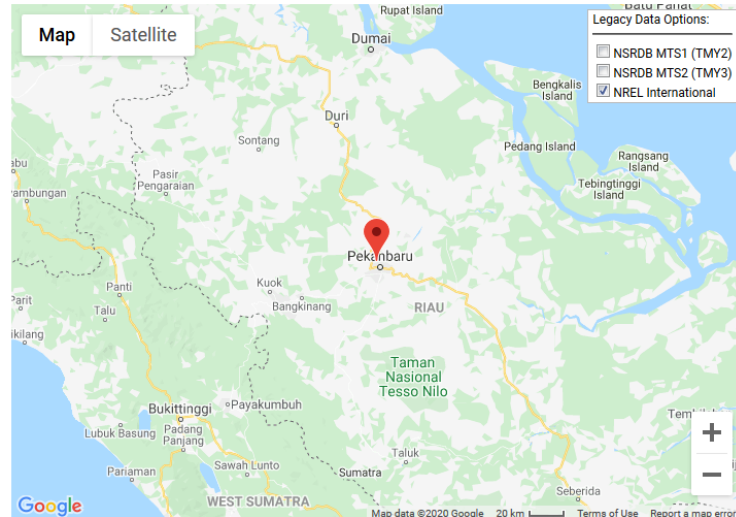
Tabel 3. Radiasi matahari dalam satuan kWh/m²/hari.



Gambar 3.2 Penampilan awal situs PV Watt Calculator.[5]

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Pada halaman utama kita dapat mengisi lokasi yang ingin kita ambil data radisnya dengan memasukkan titik koordinat lokasi. Maka pada penelitian ini, titik koordinat yang digunakan adalah *Latitude* 0,510440 dan *Longitude* 101,438309 yang merupakan koordinat wilayah Kota Pekanbaru.



Gambar 3.3 Peta Pekanbaru Dalam Situs PV Watt Calculator.[5]

Pada gambar diatas terlihat dalam bentuk peta wilayah Pekanbaru Riau pada situs PV Watt Calculator. Selanjutnya kita akan memasukkan data dalam sistem informasi seperti gambar dibawah. Yang perlu kita masukan adalah titik kemiringan (deg) berada pada kemiringan 90^0 , hal ini karena penelitian sel PV diterapkan pada fasad bangunan luar sehingga sel PV mengikuti fasad bangunan dengan kemiringan 90^0 . Masukan lainnya adalah azimuth (deg) dimana pada penelitin ini membutuhkan data radiasi matahari dengan orientasi utara, timur, selatan dan barat. Maka kita perlu mengubah Azimuth dengan titik 0^0 (arah utara), 90^0 (arah timur), 180^0 (arah selatan) dan 270^0 (arah barat).



Gambar 3.4 Sistem Informasi Dalam Situs PV Watt Calculator.[5]

Setelah memasukan data tersebut kemudian kita tekan *Go to PVWatts result*.

Setelah itu situs akan masuk ke halaman hasil *Results* dengan menampilkan data radiasi matahari daerah kota Pekanbaru Riau sebagai berikut:

RESOURCE DATA

SYSTEM INFO

RESULTS

RESULTS

Print Results

2,087 kWh/Year*

Month	Solar Radiation (kWh / m ² / day)	AC Energy (kWh)	Value (\$)
January	1.59	151	N/A
February	1.63	141	N/A
March	1.66	157	N/A
April	1.99	178	N/A
May	2.24	210	N/A
June	2.48	224	N/A
July	2.38	223	N/A
August	2.11	196	N/A
September	1.70	156	N/A
October	1.61	154	N/A
November	1.58	146	N/A
December	1.56	150	N/A
Annual	1.88	2,086	0

Gambar 3.5 Data Radiasi Matahari Untuk Orientasi Utara.[5]

Untuk data lengkap dengan orientasi utara, timur, selatan dan barat dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 3.2 Radiasi Matahari Dengan Kemiringan 90° Pada Semua Orientasi.[5]

No	Bulan	Radiasi Sinar Matahari Kemiringan 90° (kWh/m ² /hari)			
		0° (Utara)	90° (Timur)	180° (Selatan)	270° (Barat)
1	Januari	1.59	1.56	2.73	2.05
2	Februari	1.63	1.65	2.51	2.15
3	Maret	1.66	1.51	1.67	2.29
4	April	1.99	2.13	1.55	2.24
5	Mei	2.24	2.56	1.53	2.10
6	Juni	2.48	2.72	1.51	2.16
7	Juli	2.38	2.71	1.50	2.10
8	Agustus	2.11	2.20	1.57	2.15
9	September	1.70	1.58	1.48	2.15
10	Oktober	1.61	1.53	2.07	2.11



11	November	1.58	1.57	2.41	2.06
12	Desember	1.56	1.51	2.59	1.99
Rata rata		1.88	1.94	1.98	2.13

3.3

Suhu Rata-Rata Dan Kecepatan Angin Kota Pekanbaru

Suhu dan kecepatan angin wilayah kota pekanbaru di dapatkan dari data NASA dan digunakan untuk masukan dari sistem pemodelan menggunakan *software Comsol Multiphysics*.

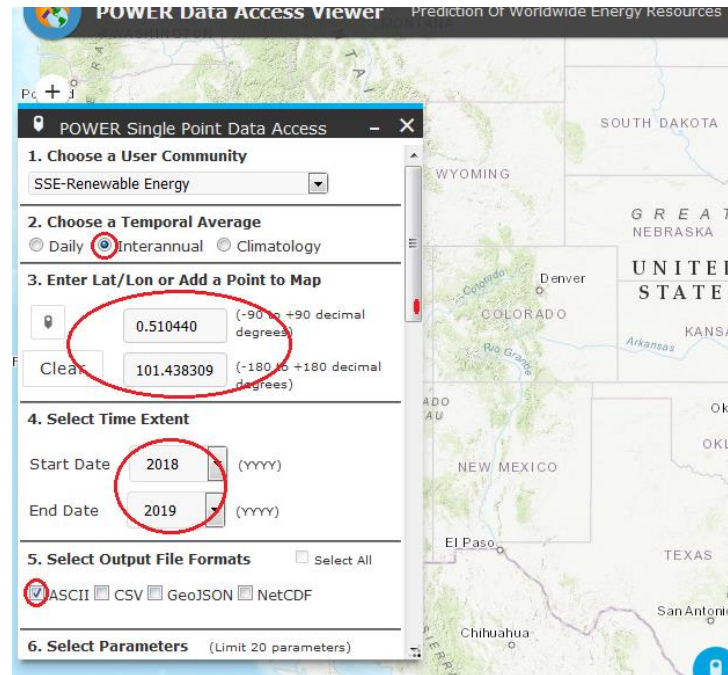


Gambar 3.6 Gambaran Utama Situs NASA Power.[29]

Untuk mendatkan data suhu dan kecepatan angin, kita perlu memasukan titik koordinat lokasi penelitian yang dalam penelitian ini berada pada Kota Pekanbaru dengan titik koordinat *Latitude* 0,510440 dan *Longitude* 101,438309. Data suhu dan kecepatan angin yang diambil dalam perbulan selama setahun adalah data ditahun sebelumnya yaitu pada tahun 2019 sehingga pada masukan *select time* kita masukan tahun 2019.

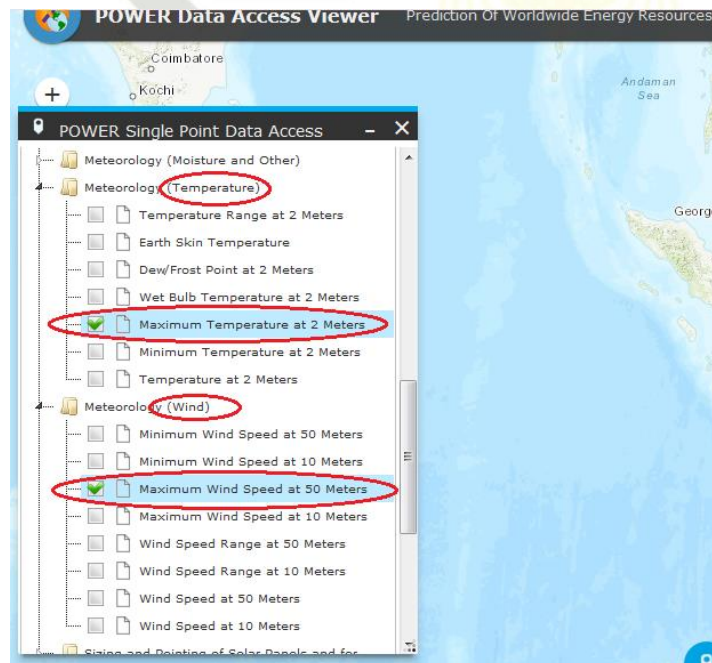
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.7 POWER Single Poin Data Acces Dalam Situs NASA Power.[29]

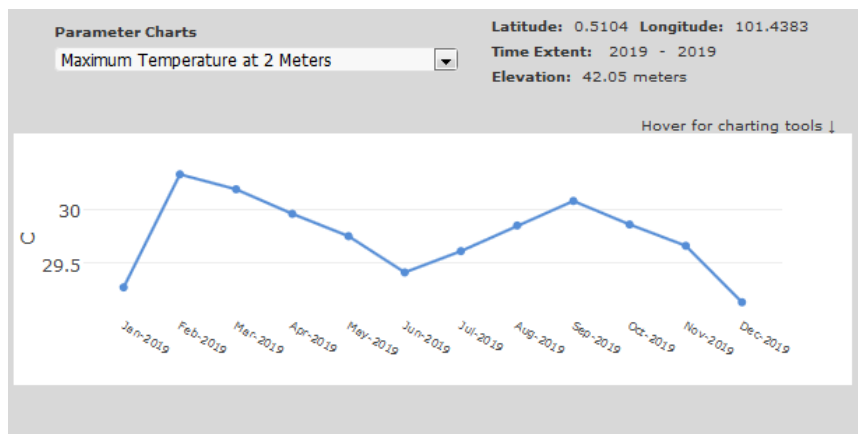
Untuk data suhu yang diambil adalah *Maximum Temperature At 2 Meters* sedangkan data kecepatan angin yang diambil adalah *Maximum Wind Speed At 50 Meters* seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 3.8 POWER Single Data Access Dalam Situs NASA Power.[29]

3.6.3.1 Data Suhu

Dalam situs NASA Power kita mendapatkan data suhu wilayah kota pekanbaru dalam bentuk grafik dan tabel. Dilihat pada grafik dibawah, Kota Pekanbaru memiliki suhu rata-rata sebesar 29,75 °C selama setahun. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik dibawah ini:



Grafik 3.1 Suhu Kota Pekanbaru Riau.[29]

Untuk melihat dengan jelas besaran suhu yang dikota Pekanbaru Riau didapat dari situs NASA Power dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

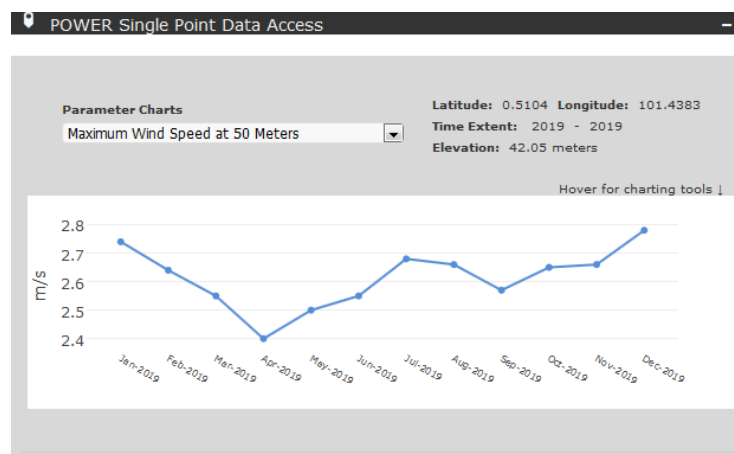
Tabel 3.3 Data Suhu Kota Pekanbaru Riau.[29]

No	Bulan	Temperatur (°C)
1	Januari	29.27
2	Februari	30.33
3	Maret	30.19
4	April	29.96
5	Mei	29.75
6	Juni	29.41
7	Juli	29.61
8	Agustus	29.85
9	September	30.08
10	Oktober	29.86
11	November	29.66
12	Desember	29.13
Rata-rata		29.75

3.6.3.2 Data Kecepatan Angin

Data kecepatan angin di wilayah kota Pekanbaru berdasarkan situs NASA Power dapat dilihat dalam bentuk grafik dan tabel. Kecepatan angin rata-rata dalam setahun sebesar

m/s



Grafik 3.2 Kecepatan Angin Pada 50 Meter Dalam m/s.[29]

Pada grafik diatas terlihat bahwa suhu paling rendah terjadi pada bulan April dan suhu paling tinggi terlihat pada bulan Desember. Untuk melihat dengan jelas besaran suhu wilayah kota Pekanbaru dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 3.4 Kecepatan Angin Maksimum Pada Jarak 50 Meter Ke Atas Dalam m/s.[29]

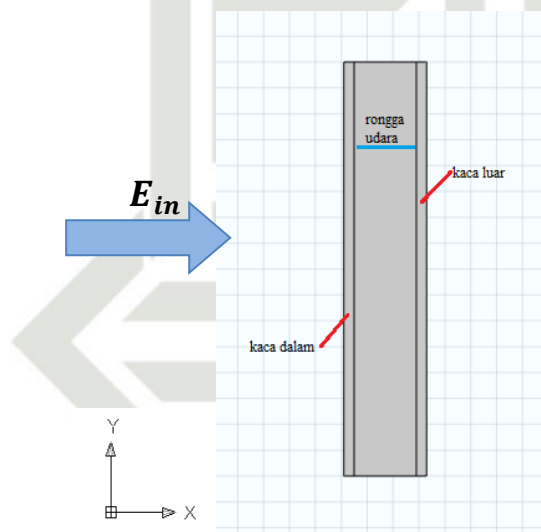
No	Bulan	Kecepatan Angin (m/s)
1	Januari	2.74
2	Februari	2.64
3	Maret	2.55
4	April	2.40
5	Mei	2.50
6	Juni	2.55
7	Juli	2.68
8	Agustus	2.66
9	September	2.57
10	Oktober	2.65
11	November	2.66
12	Desember	2.78
Rata-rata		2.62

3.7 Pemodelan Dan Simulasi

Pemodelan pada penelitian ini merupakan jenis pemodelan simulasi yaitu suatu proses atau sistem yang akan dikaji melalui proses simulasi. Adapun langkah-langkahnya meliputi mendefinisikan sistem, pengembangan model, programming menggunakan software COMSOL dan melakukan proses simulasi.

3.7.1 Definisi Model

Langkah ini dilakukan dengan membangun/pengembangan model sistem seperti geometri sistem dan fenomena yang terjadi pada sistem tersebut seperti konservasi massa, momentum dan konservasi energi, serta parameter-parameter yang terlibat pada sistem tersebut. Sistem ini akan menentukan bentuk pemodelan matematis yang akan digunakan.



Gambar 3.9 Model Fisik *Solar Windows Semitransparent Photovoltaic Panels*. [27]

Pemodelan ini menggambarkan sebuah sistem *semitransparent Photovoltaic panels* dipasang pada kaca luar jendela kaca ganda. Sifat *transparent* berfungsi sehingga jendela solar ini layakannya berfungsi sebagai jendela pada umumnya, model sistem ini menerima energi berupa energi intensitas radiasi matahari. Model *Solar Windows Semitransparent Photovoltaic Panels* mengikuti fasad bangunan dengan kemiringan 90^0 dengan data radiasi matahari dengan orientasi utara, timur, selatan dan barat. Maka kita perlu mengubah Azimuth dengan titik 0^0 (arah utara), 90^0 (arah timur), 180^0 (arah selatan) dan 270^0 (arah barat).

Dalam memodelkan *Solar Windows semitransparent photovoltaic panels* Untuk Menghasilkan Potensi Energi Listrik Di Kota Pekanbaru Riau, ada beberapa asumsi yang dilakukan pada penelitian ini yaitu kontruksi dari *solar window*, *Aseesment Resource* kota



pekanbaru, dan faktor lain yang mempengaruhi potensi energi dan performa dari solar

Windows

1. Intensitas radiasi matahari mengenai seluruh permukaan *Solar Windows semitransparent photovoltaic panels* yang dipasang pada fasad bangunan.
2. Kontruksi *Solar Windows semitransparent photovoltaic panels* terdiri material kaca, udara dan silicon serta mengabaikan komponen pelapis seperti EVA dan PVB.
3. Tidak ada debu atau bahan lain yang menempel pada permukaan PV yang dapat mengakibatkan penurunan penyerapan energi intensitas matahari oleh system *Solar Windows semitransparent photovoltaic panels*.
4. Fluida udara mengisi bagian antara PV dan kaca dan aliran fluida tersebut laminar.
5. Suhu pada luar *Solar Windows semitransparent photovoltaic panels* adalah suhu kota Pekanbaru pada suhu maksimum dan suhu bagian dalam adalah suhu lingkungan yaitu 25°C atau 298.15 K .
6. Kecepatan angin pada pemodelan ini adalah kecepatan angin dari jarak 50 meter ke atas sampai permukaan tanah di kota Pekanbaru.

Secara sederhana pemodelan *Solar Windows Semitransparent Photovoltaic Panels*

dapat dijelaskan sebagai berikut:

- A. Dimensi kaca pada *Software Comsol Multiphysics 5.3a* menggunakan dua dimensi (2D) pada *Select Space Dimension*.
- B. Modul physics yang digunakan pada *Software Comsol Multiphysics 5.3a* adalah *laminar flow* dan *heat transfer in solid*
- C. Material kaca yang digunakan pada *Software Comsol Multiphysics 5.3a* adalah material kaca (*glass*), *Silicone* dan udara (*air*) yang telah tersedia pada menu *add material from library*.
- D. Parameter data yang digunakan dalam *Software Comsol Multiphysics 5.3a* adalah data historis dimana data tersebut adalah radiasi matahari, suhu lingkungan, kecepatan angin dan dimensi kaca.
- E. Geometri model sistem pada penelitian ini menggunakan bentuk *Rectangle* dan terdiri dari 3 layer yaitu kaca, rongga udara dan silikon dalam *Software Comsol Multiphysics 5.3a*.



3.7.2 Pengembangan Formulasi Model

Pemodelan sistem *Solar Windows semitransparent photovoltaic panels* menggunakan persamaan momentum, konservasi massa dan konservasi energi. Sistem *Solar Windows semitransparent photovoltaic panels* menerima energi intensitas matahari, mengkonversi energi intensitas radiasi matahari menjadi listrik dan sebagian menjadi energi panas. Ada tiga jenis perpindahan panas yang terjadi pada yaitu sistem, yaitu Perpindahan panas secara konduksi terjadi pada sel PV (kaca luar) dengan kaca dalam. Perpindahan panas ke lingkungan juga terjadi secara konveksi bebas/paksa. Perpindahan panas secara radiasi dari *solar window* juga terjadi dalam bentuk radiasi gelombang panjang. Perpindahan panas secara konduksi pada *solar window*, diberikan pada persamaan 3.1.

$$\nabla x (k \nabla T) = 0 \quad (3.1)$$

Keterangan:

∇	= Operator Differensial Vektor
k	= Konduktifitas Thermal (J/s.m ⁰ C)
T	= Temperatur (K)

Energi intensitas radiasi matahari diubah oleh sel PV menjadi listrik dan sebagian dikonversi menjadi panas. Kehilangan panas secara konveksi secara paksa pada permukaan *solar window panels* diberikan pada persamaan 3.2.

$$q_{conv} = - h_{c.forces} x A x (T_{pv} - T_{amb}) \quad (3.2)$$

Keterangan:

q_{conv}	= Laju Aliran Koveksi (W/m ²)
$h_{c.forces}$	= Koefisein Perpindahan Panas (W/m ² . ⁰ C)
A	= Luas Area (m ²)
T_{pv}	= Temperatur PV (K)
T_{amb}	= Temperatur Abolut (K)

Perpindahan panas secara konveksi juga terjadi pada *solar window panel* dimana mekanisme tersebut terjadi pada fluida udara yang berada diantara PV dan Kaca. Untuk memodelkan persamaan perpindahan panas secara konduksi pada sel PV dan perpindahan panas secara konveksi pada fluida udara pada *solar window panels* diselesaikan dengan menggunakan persamaan momentum, konservasi massa dan konservasi energi yang diberikan pada persaaam 3.3 dan 3.4.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$\nabla \times (\rho u) = 0 \quad (3.3)$$

$$\rho u \times \nabla u = -\nabla p + \nabla \times (\mu(\nabla u + (\nabla u)^T)) \quad (3.4)$$

Keterangan:

$$\rho u = \text{Massa Jenis (kg/m}^3\text{)}$$

Persamaan perpindahan panas secara konduksi dan konveksi pada fluida udara diberikan pada persamaan 3.5

$$\rho C_p u \times \nabla T = \nabla \times (k \nabla T) \quad (3.5)$$

Keterangan :

$$C_p = \text{panas jenis (J/kg.}^0\text{C)}$$

$$k = \text{konduktifitas thermal (W/m}^0\text{C)}$$

Perpindahan panas secara radiasi berupa radiasi gelombang panjang diberikan persamaan 3.6

$$q_{lw} = \varepsilon \times \sigma \times (T_{pv}^4 - T_{amb}^4) \quad (3.6)$$

Keterangan :

$$\varepsilon = \text{Emisivitas}$$

$$\sigma = \text{Tetapan Stefan (5.699 x 10}^{-8} \text{ W/m}^2\text{.K)}$$

$$T_{pv}^4 = \text{Temperatur Sel PV(K)}$$

$$T_{amb}^4 = \text{Temperatur Absolut (K)}$$

3.7.2.1 Kondisi Batas Sistem

Berdasarkan gambar 3.9, kondisi batas model sistem, pada sebelah luar sesuai dengan *assessment resource* di Pekanbaru Riau, yaitu Intensitas Radiasi matahari, kecepatan angin dan suhu ambient. Kondisi batas model sistem pada sebelah dalam mengikuti suhu kamar yaitu 25⁰C atau 298.15 K.

3.7.3 Programming Menggunakan Software COMSOL

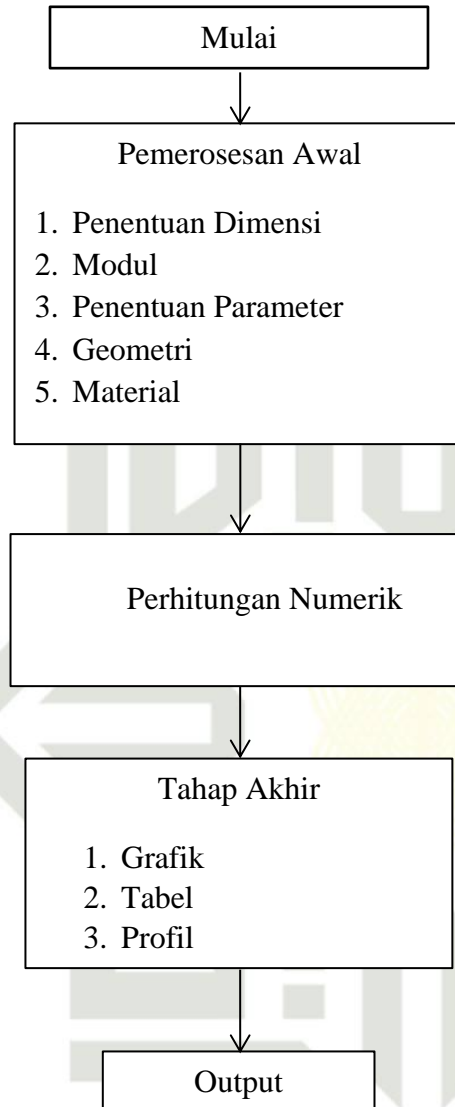
COMSOL *Multiphysics* merupakan merupakan software pemodelan yang digunakan pada penelitian ini. Software COMSOL *Multiphysics* menggunakan satuan Satuan Internasional (SI) pada parameteranya. Model matematis system *Solar Windows Semitransparent Photovoltaic Panels* dimasukkan ke software COMSOL *Multiphysics* sehingga model tersebut dapat dijalankan pada program COMSOL. Proses Programming ini merancang geometri dari sistem yang dimodelkan, setelah itu persamaan-persamaan dari model sistem dimasukkan ke domain sistem yaitu persamaan momentum, konservasi massa dan konservasi energi.



- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Terdapat beberapa tahap yang dilakukan dalam memodelkan *solar window panels* sebagai berikut:



Gambar 3.10 Flowchart Pemodelan *Solar Window Panels*

3.7.3.1 Pemrosesan Awal

Pemrosesan awal dilakukan dengan membuka software Comsol *Multipysics* dengan cara mengklik Icon Software. Selanjutnya akan muncul Icon seperti gambar berikut:



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

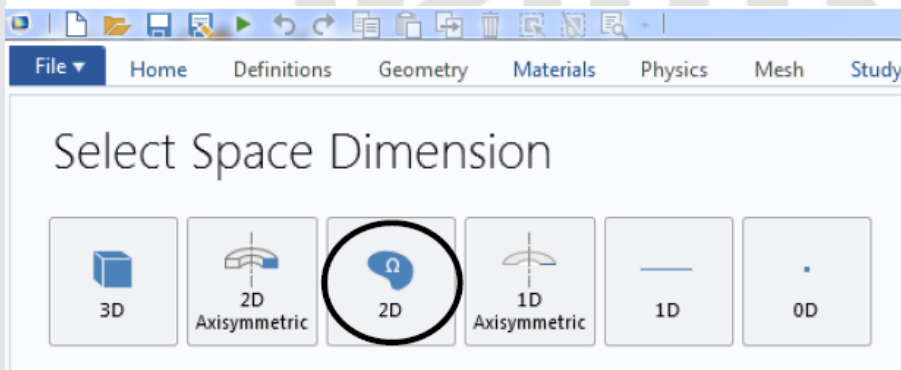
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau



Gambar 3.11 Icon *Software* COMSOL Multipysics. [27]

Penentuan Dimensi

Setelah icon *Software* muncul, maka selanjutnya akan muncul halaman utama dari *software* tersebut. langkah selanjutnya adalah memasukan *Space Dimension* dimana pada penelitian ini menggunakan dua dimensi atau 2D.



Gambar 3.12 Pemilihan Dimensi *Software* Comsol Multipysics.[27]

Modul Phisyc

Persamaan momentum, konservasi massa dan konservasi energi ditentukan dengan *Select study*. Dalam pemodelan ini terjadi 2 mekanisme perpindahan panas yaitu konduksi dan konveksi, mekanisme perpindahan panas secara konduksi terjadi pada material padat sehingga dalam pemodelan menggunakan modul *Heat Transfer In Solid*. Sedangkan mekanisme perpindahan panas konveksi terjadi pada material udara maka pada pemodelan menggunakan modul *Laminar Flow*.

Selanjutnya memilih *Select Study* dimana pada penelitian ini kita memilih *Stationary* pada pilihan *Preset Studies* kemudian klik *Done*.

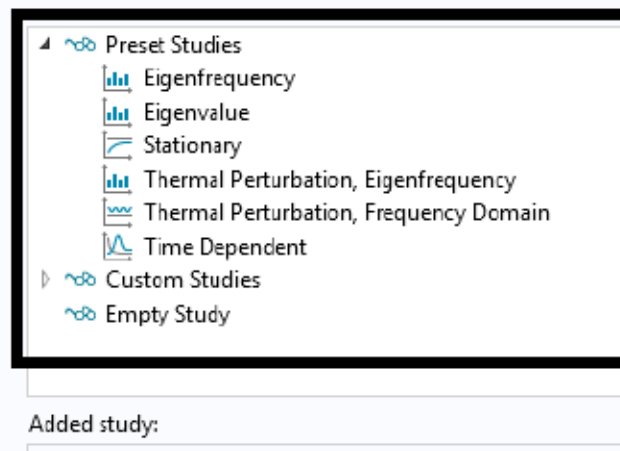
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Select Study



Gambar 3.13 Pemilihan *Select Study*. [27]

Penentuan Parameter

Parameter pertama yang dibutuhkan adalah data suhu lingkungan (*temperature hot*) setiap bulan di kota Pekanbaru. Data ini berguna sebagai masukan T_h atau *temperature hot* dalam simulasi pemodelan.

A. data suhu ruangan (*temperature cool*)

yang didapat dari standar suhu ruangan pada bangunan di Pekanbaru. Data ini berguna sebagai masukan T_c atau *temperature cool* dalam pemodelan. Dalam penelitian ini suhu ruangan sebesar 26°C .

B. Data kecepatan angin

Data kecepatan angin di wilayah kota Pekanbaru sebesar 2.6 m/s berguna untuk masukan pada software Comsol Multiphysics.

Radisi matahari

Data radiasi wilayah kota pekanbaru sebesar $4.28 \text{ kWh/m}^2/\text{tahun}$.

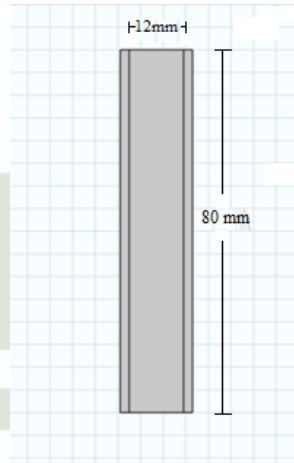
Secara keseluruhan parameter masukan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. Parameter Masukan.

No	Parametar	Satuan
1	Suhu Lingkungan (T_c)	$^{\circ}\text{C}$
2	Kecepatan Angin (v_{wind})	m/s
3	Radiasi Matahari (q_{rad})	$\text{kWh/m}^2/\text{hari}$

4. Geometri

Setelah mendapat semua data dan mengetahui apa saja yang dibutuhkan dalam memodelkan *solar window semitransparent photovoltaic panels* maka pemodelan kedalam *software* dapat dilakukan. Memasukan geometri model pada *Software* dengan cara memilih geometri sebanyak yang dibutuhkan. Berdasarkan dari penelitian sebelumnya ukuran model jendela kaca ganda yang baik dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 3.14 Geometri Model Dalam *Software* Comsol.[27]

Penentuan Material

Ada beberapa material bahan yang digunakan dalam penelitian ini, namun karena jenis penelitian berbasis pemodelan maka material yang dipergunakan tidak dalam bentuk nyata, melainkan dalam bentuk modul pada *software* bantu. Adapun bahan material yang digunakan adalah sebagai berikut:

Material Kaca

Kaca merupakan komponen utama dalam penelitian ini, dimana tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghambat distribusi panas dari luar menuju kedalam ruangan. Untuk melakukan penghambatan distribusi panas, komponen kaca lah yang berperan besar didalamnya. mekanisme perpindahan panas yang terjadi pada material kaca adalah mekanisme konduksi. Besaran laju perpindahan panas yang terjadi pada komponen kaca tergantung dari masa jenis dan nilai K atau *thermal konduktivitas* kaca tersebut.

b. Material Udara

Udara merupakan material yang sangat penting apada penelitaian tugas akhir ini, sama halnya material kaca, material udara tidaklah dalam bentuk nyata, melainkan dalam



bentuk modul simulasi pemodelan dalam *software* bantu. Udara juga memiliki peran aktif untuk menghambat laju distribusi panas yang masuk. Besaran ukuran rongga udara sangatlah mempengaruhi besar dan laju distribusi panas yang terjadi. Mekanisme perpindahan panas yang terjadi pada material udara adalah konveksi.

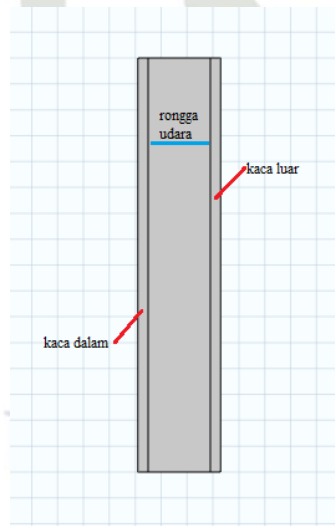
Material Silikon (*Cell Photovoltaic*)

Pada *cell photovoltaic* umumnya bahan yang digunakan adalah bahan silikon. Pada penelitian ini, *cell photovoltaic* berfungsi untuk menghasilkan daya dari radiasi cahaya matahari yang masuk melalui jendela bangunan. Sehingga *cell photovoltaic* juga ikut berperan aktif membantu mengurangi distribusi panas yang terjadi.

Adapun besaran nilai *thermal conductivitas* setiap material dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3.6 Sifat Bahan dan Laju Perpindahan Panas.[25]

No	Material	<i>Thermal Conductivitas</i> (W/m.C ⁰)	Massa Jenis (kg/m ³)
1	Kaca	0,800	2200
2	Udara	0,023	1.24
3	Silikon	149	2.329



Gambar 3.15 Pemodelan Jendela Kaca Ganda Dalam *Software* Comsol Setelah Masukan Material.[27]



3.7.3.2 Perhitungan Numerik

Setelah *Solar Window Semitransparent Photovoltaic Panels* dimodelkan dalam *software* Comsol Multipysics dan telah diberi masukan parameter dan material, untuk mendapatkan hasil yang diinginkan, *software* akan melakukan pengolahan berupa perhitungan numerik.

3.7.3.3 Tahap akhir

Proses akhir dari pemodelan ini berupa keluaran dari hasil pemodelan *Solar Window Semitransparent Photovoltaic Panels* yang di modelkan dalam *software* Comsol Multipysics. Hasil akhir ini berupa grafik, tabel dan gambar.

3.8 Validasi

Validasi adalah suatu tindakan untuk sebuah hal yang dilakukan atau tindakan untuk sebuah pembuktian akan sesuatu. Dalam penelitian ini, untuk mengetahui kebenaran simulasi pemodelan yang buat maka pembuktian yang dapat dilakukan adalah dengan membandingkan penelitian sebelumnya dengan hasil pemodelan yang telah dibuat. Perbandingan yang dilakukan berupa profil temperatur suhu dan laju aliran perpindahan panas sehingga dapat ditentukan apakah sistem sudah berjalan dengan benar atau tidak. Jika hasil pemodelan mendapatkan hasil yang kurang lebih sama dengan penelitian sebelumnya maka sistem sudah benar, namun jika perbandingan hasil sangat jauh maka pemodelan sistem masih terdapat kesalahan dan perlu dilakukan pengecekan.

Pada penelitian ini, validasi dilakukan menggunakan penelitian sebelumnya yaitu penelitian [13]. Penelitian [13] merupakan penelitian dengan metode analisis yang menggunakan *software* bantu Comsol Multiphysics. Sehingga dapat menjadi tolak ukur kevalidan pemodelan yang dilakukan pada penelitian ini.

3.9 Skenario Penelitian (*Analisis Sensitivitas*)

Analisis sensitivitas pada penelitian ini dengan melakukan perubahan-perubahan parameter pada model sistem *Solar Window Semitransparent Photovoltaic Panels* yang disebut dengan dengan skenario parameter. Pada penelitian *Solar Window Semitransparent Photovoltaic Panels* ini terdapat beberapa data yang dibutuhkan untuk pemodelan. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal, peneliti mengambil data ukuran model yang terbaik dari penelitian sebelumnya diantaranya ketinggian kaca dan lebar rongga udara. Parameter yang dirubah pada penelitian ini adalah ketebalan kaca. Peneliti mengambil sampel berdasarkan ketebalan kaca yang umumnya digunakan dikota Pekanbaru. Pengambilan data parameter dilakukan dengan cara wawancara terhadap toko kaca yang ada di pasaran kota Pekanbaru.



Berdasarkan wawancara di dua toko kaca yang berbeda didapatkan tiga variasi ketebalan kaca yang sering digunakan yaitu ketebalan 4 mm, 5mm dan 6 mm. Data tersebut yang menjadikan hasil dari penelitian ini bervariasi sehingga peneliti mendapatkan hasil yang terbaik dari penelitian ini.

Pada penelitian ini dilakukan menggunakan *Analisis Sensitivitas* dimana *Analisis Sensitivitas* sendiri dilakukan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dari berbagai keadaan atau ada faktor perubah pada penelitian. Dalam penelitian ini terdapat parameter model masukan yang berubah-ubah. Parameter tersebut adalah ketebalan kaca yang digunakan dalam pemodelan sehingga *Analisis Sensitivitas* berguna untuk memilih hasil terbaik berdasarkan parameter masukan yang berbeda-beda.

3.10 Analisis Potensi Energi Yang Dihasilkan Dari Solar Window Panel

A. Analisis temperatur dan efisiensi Sel PV

Analisis suhu sel PV akan diperoleh dari output pemodelan yang dilakukan dengan menggunakan software COMSOL.

B. Analisis Potensi

Setelah mendapatkan temperature sel PV, maka akan dihitung performa sel PV yaitu efisiensi sel PV dengan menggunakan persamaan 2.2. selain performa sel PV PV juga akan dianalisis energi Yields menggunakan standar GSES menggunakan persamaan 2.1

3.11 Kesimpulan Dan Saran

Kesimpulan merupakan rangkuman secara keseluruhan dari penelitian yang telah dilakukan mencakup teori hingga hasil dari penelitian dan saran merupakan suatu masukan serta nasehat-nasehat dari peneliti agar penelitian yang berhubungan kedepannya dapat lebih baik lagi.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



BAB V

KESIMPULAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian pemodelan *Solar Window Semitransparent Photovoltaic Panels* untuk menghasilkan potensi energi listrik di kota Pekanbaru mendapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemodelan mendapatkan hasil berupa kontur suhu dan laju aliran dimana kontur suhu memperlihatkan aliran temperatur bergerak dari dinding yang menghadap luar mendapatkan temperatur sebesar 301.01 K bergerak menuju dinding dengan temperatur yang lebih rendah sebesar 298.9 K. sedangkan laju aliran memperlihatkan gas yang berada pada rongga udara memiliki tekanan karena mendapatkan termal dari dinding kaca sehingga menyebabkan gas pada rongga udara bergerak dengan kecepatan maksimum 0.005m/s searah jarum jam.
2. Potensi energi listrik yang dihasilkan sangat tergantung pada radiasi matahari, ketebalan kaca, temperatur sel PV dan orientasi dimana pada ketebalan kaca 4mm mendapatkan energi listrik yang lebih besar pada orientasi utara, timur dan Selatan. Secara keseluruhan pada ketebalan kaca 4mm mendapatkan temperatur sel PV terbaik sebesar 4mm diorientasi utara, efisiensi sel PV terbaik sebesar 7.7932% diorientasi utara dan energi listrik terbaik sebesar 0.2664 kWh pada orientasi selatan. Ketebalan kaca 5mm mendapatkan temperatur sel PV terbaik sebesar 302.15 pada orientasi timur, efisiensi sel PV terbaik sebesar 7.7913% pada orientasi timur dan energi listrik terbaik sebesar 0.26647 kWh pada orientasi barat. Ketebalan kaca 6mm mendapatkan temperatur sel PV terbaik sebesar 302.51K pada orientasi timur, efisiensi sel PV terbaik sebesar 7.7828% pada orientasi timur dan energi listrik terbaik sebesar 0.26646 kWh pada orientasi barat.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas, maka dapat diajukan beberapa saran agar penelitian ini bermanfaat dan dapat dilakukan penelitian lebih lanjut tentang *Solar Window Semitransparent Photovoltaic Panels* diantaranya:

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan memperhitungkan umur pembangkit *Solar Window Semitransparent Photovoltaic Panels* terhadap listrik yang dihasilkan.
2. Penelitian selanjutnya juga dapat dilakukan eksperimen untuk membuktikan hasil pemodelan, dianalisis kelayakan baik teknis dan ekonomis jika system ini dapat diterapkan pada bangunan atau perancangan lain.





DAFTAR PUSTAKA

1. Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, "Indonesia Energy Out Look 2019," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019.
2. M. B. Fadillah, D. Y. Sukma, and Nurhalim, "Analisis Prakiraan Kebutuhan Energi Listrik Tahun 2015-2024 Wilayah Pln Kota Pekanbaru Dengan Metode Gabungan," *Jom FTEKNIK*, vol. 2, no. 2, pp. 1–10, 2015.
3. DEN, "Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional 2019-2038," *Kemntrian Energi Dan Sumber Daya Miner.*, no. Jakarta, 2019.
4. A. P. Tampubolon and J. C. Adiatama, "Laporan Status Energi Bersih Indonesia," pp. 1–28, 2019.
5. NREL, *PV Watt viewer solar business hub resources V6 API*. U.S.
6. P. Badan Pusat Statistik, "Profil Kabupaten / Kota Pekanbaru," 2014.
7. Wikipedia, "Daftar Gedung Tertinggi Dikota Pekanbaru," 2020. <https://id.m.wikipedia.org>.
8. A. Solar, "ATAP SOLAR CELL.pdf."
9. N. Martín-Chivelet, C. Guillén, J. F. Trigo, J. Herrero, J. J. Pérez, and F. Chenlo, "Comparative performance of semi-transparent PV modules and electrochromic windows for improving energy efficiency in buildings," *Energies*, vol. 11, no. 6, 2018, doi: 10.3390/en11061526.
10. G. (Global Sustainable Energy Solutions), *Grid-Connected PV System Design And Installation*. .
11. K. Hie Khwee, "Pengaruh Temperatur Terhadap Kapasitas Daya Panel Surya (Studi Kasus: Pontianak)," *J. ELKHA*, vol. 5, no. 2, pp. 23–26, 2013.
12. C. P. M. Erdem Case, "Buildings Of Furtur: Smart, Low-Cost And Energi Efficient," *Univ. Nottingham*, no. 11 November, 2016.
13. M. H. D. Yusof, "Analisis Terma Dan Prestasi Tetingkap Dwi Kaca Dengan Modul Fotovoltan Semi-Lutsinar," *Sains Malaysiana*, vol. 43, pp. 575–582, 2014.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak Cipta dilindungi Undang-Undang UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

1. Dianggap mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



[14]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1

1

17

18

19

20

21

[22]

[23]

[24]

[25]

evelise Leite Didone, "Semi-Transparent PV Window For Zero Energy Office Buildings," *Karlsruher Inst. für Technol. Fachgebiet Bauphysik Tech. Ausbau Inst. für Entwurf. und Bautechnik*, 2014.

Z. Qiu, T. Chow, P. Li, C. Li, J. Ren, and W. Wang, "Performance evaluation of the photovoltaic double-skin facade," *IBPSA 2009 - Int. Build. Perform. Simul. Assoc.* 2009, pp. 2251–2257, 2009.

H. Elarga, M. De Carli, M. A. Elazm, C. Alvarez, and A. Zarrella, "Assessment of Active Double Skin Façade Integrated With PV Cell," *ASHRAE Trans.*, vol. 121, no. 1, pp. 1–9, 2015.

O. Aydin, "Determination of optimum air-layer thickness in double-pane windows," *Dep. Mech. Eng. Karadeniz Tech. University, 61080 Trabzon, Turkey*, vol. 32, no. 30 Maret, pp. 300–308, 2000.

H. Y. Han Jun, Lin Lu, "Thermal behavior of a novel type see-through glazing system with integrated PV cells," *Build. Environ.*, vol. 44, no. 5 Maret, pp. 2029–2136, 2009.

"Buku Panduan Energi Yang Terbarukan," *Progr. Nas. Pemberdaya. Masy. Mandiri*, pp. 27–33, 2010.

C. M. Lewandowski, "Keputusan Menteri Negara Pekerjaan Umum Nomor: 19/Kpts/2000," *Eff. Br. mindfulness Interv. acute pain Exp. An Exam. Individ. Differ.*, vol. 1, 2000.

Eko Yuliandri, "Fungsi Jendela Rumah Bukan Hanya Pemanis Saja," 2013. <http://www.desaingambar.com/jendela-rumah/>.

SanLegend, "Jenis Jenis Sel Surya," 2013. <http://sanfordlegenda.blogspot.com/2013/10/Solar-cells-Jenis-jenis-sel-surya.html>.

"Kaca Jendela Penghasil Energi Listrik (Solar Window)," *Maj. Energi (Sustainable Energy Montly Mag.*, no. 23 September, 2010.

M D. M. syaiful, *Mekanisme Perpindahan Energi*. 2009.

B. K. Khotimah, *Teori Simulasi dan Pemodelan: Konsep, Aplikasi dan Terapan*. 2015.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta dilindungi Undang-Undang UIN Suska Riau

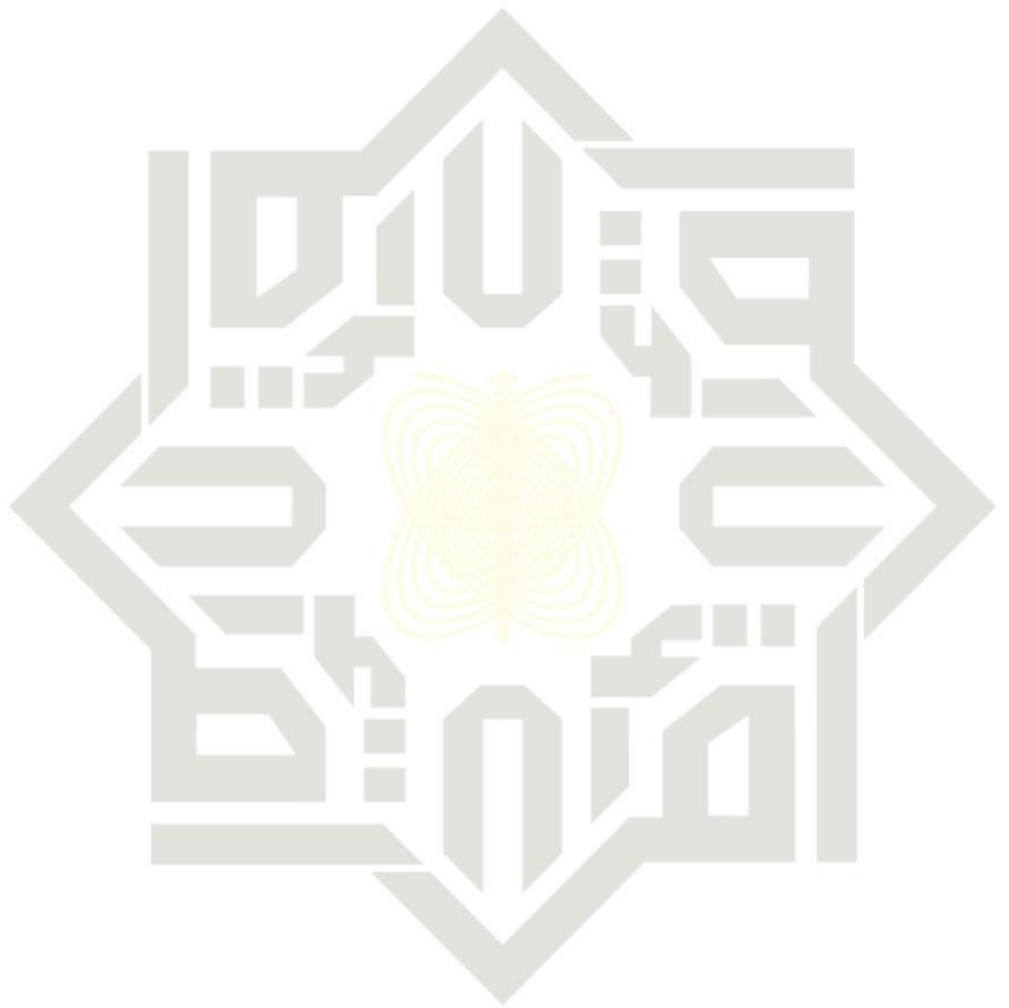


[26] “COMSOL Multiphysics Handbook,” *COMSOL AB*, vol. 5.3a, 2009.

K. J. Bathe, *Finite Element Procedures*. 1996.

G. R. W. Development, “Amorphous Silicone,” *Power Film Solar*, 2021. .

J. M. Kusterer, “Nasa Power,” *Nasa Langley ASDC User Service*, 2021.
<http://eosweb.larc.nasa.gov/sse>.



UIN SUSKA RIAU

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LAMPIRAN

1. Pengambilan data ketebalan kaca

© Hak

Hak Cipta

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengemukakan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

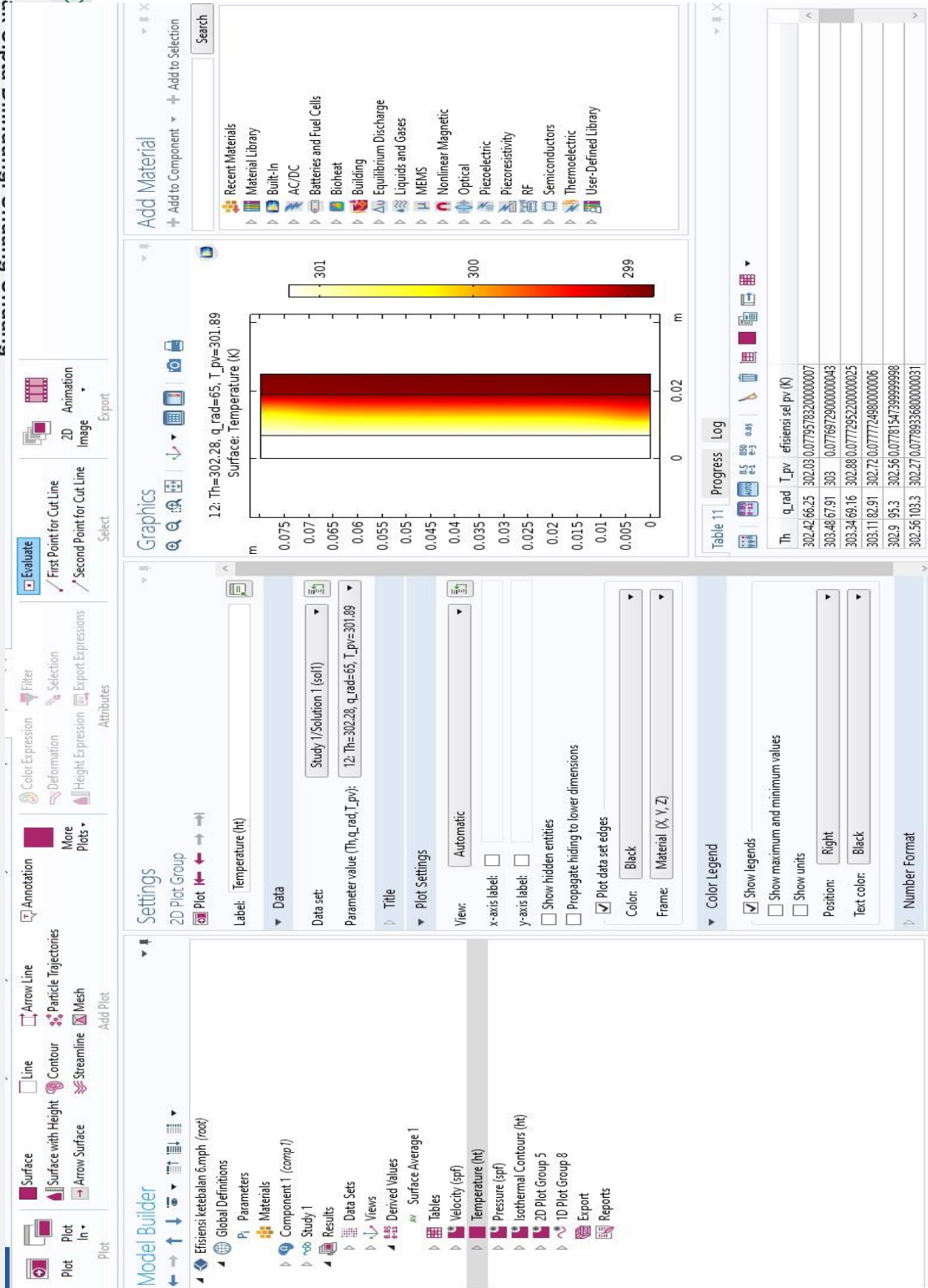


if Kasim Riau



2. Prmodelan Orientasi Utara (4mm)

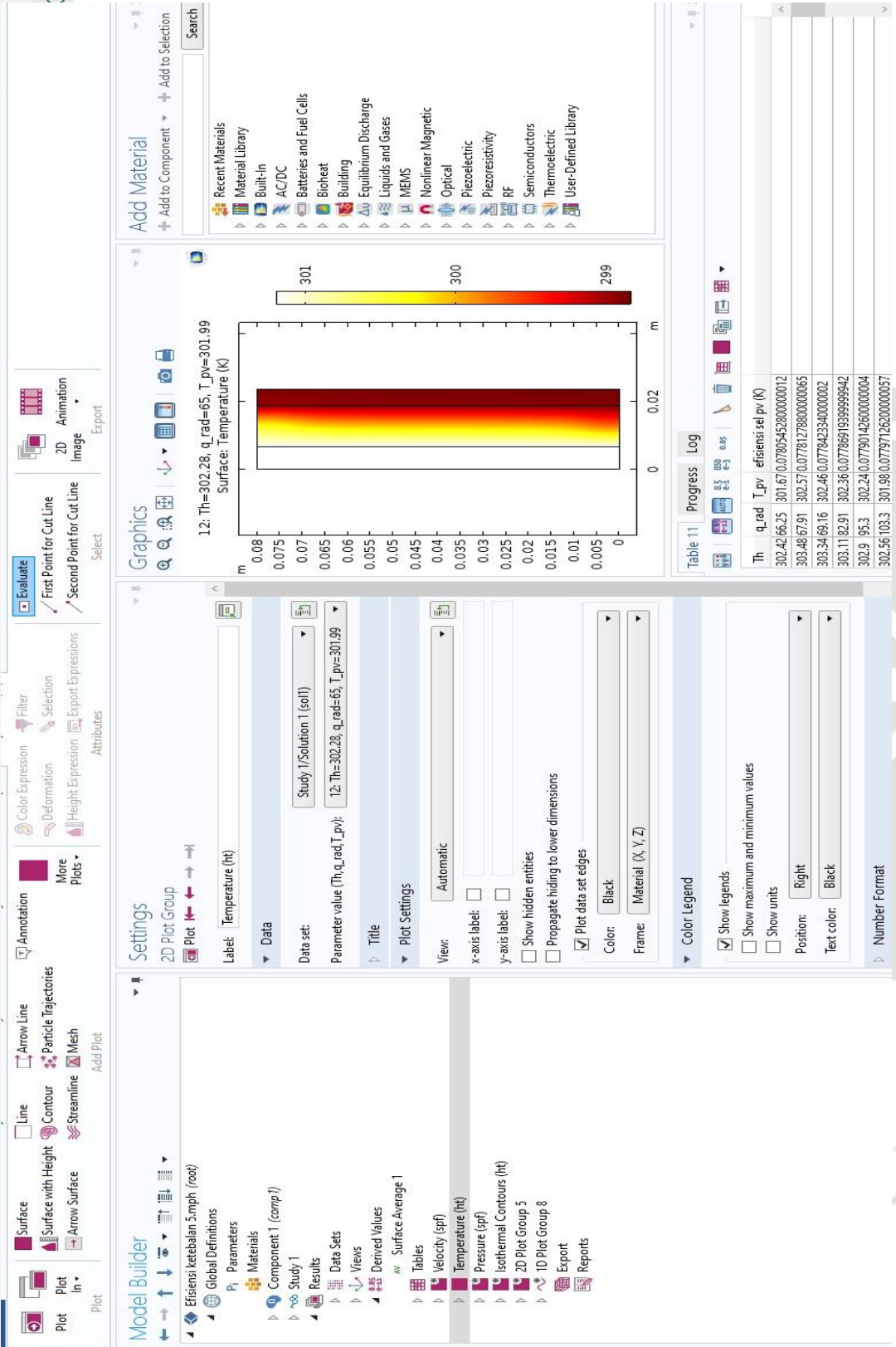
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





3. Prmodelan Orientasi Utara (5mm)

1. Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 - a. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - b. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

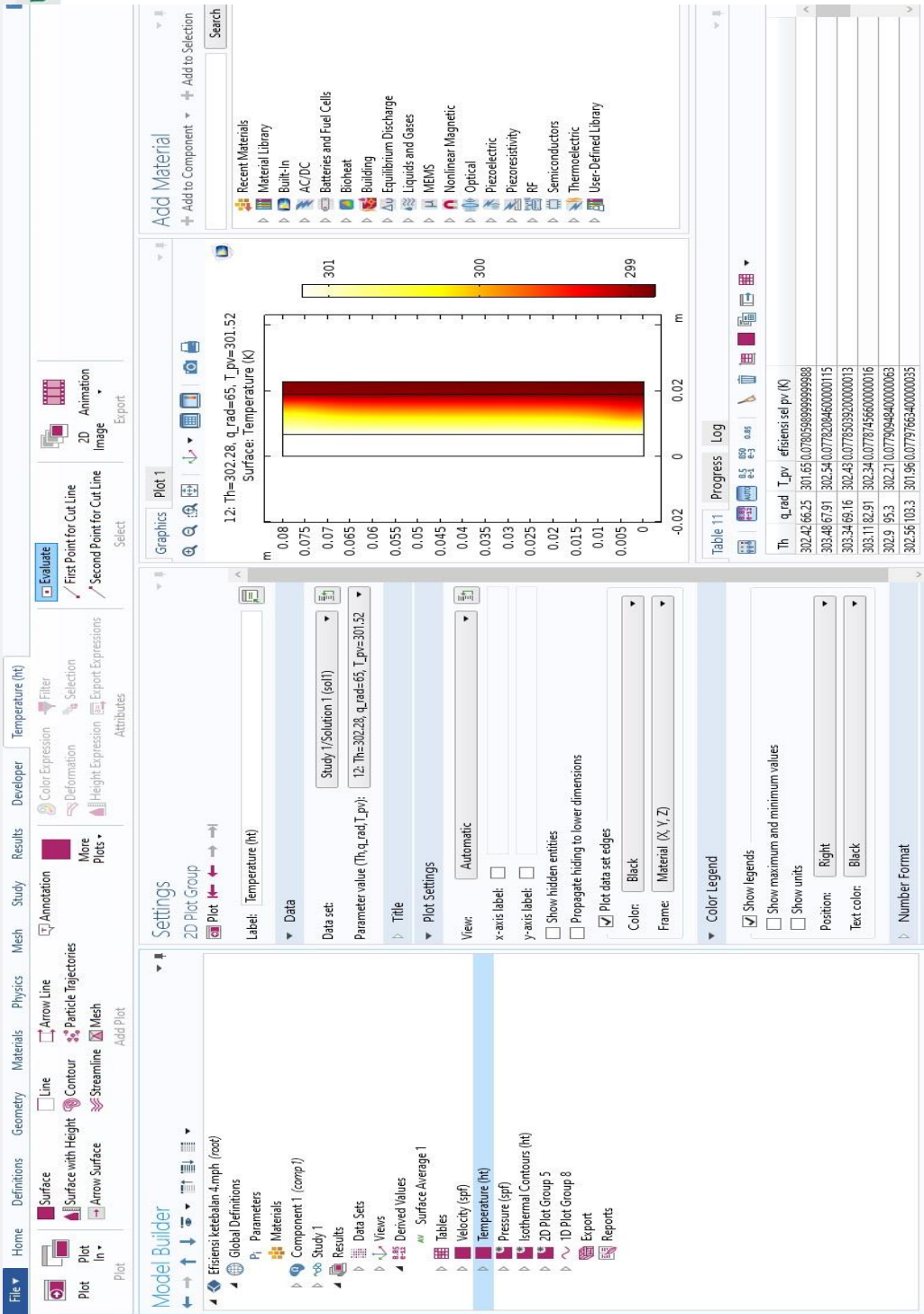




4. Prmodelan Orientasi Utara (6mm)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

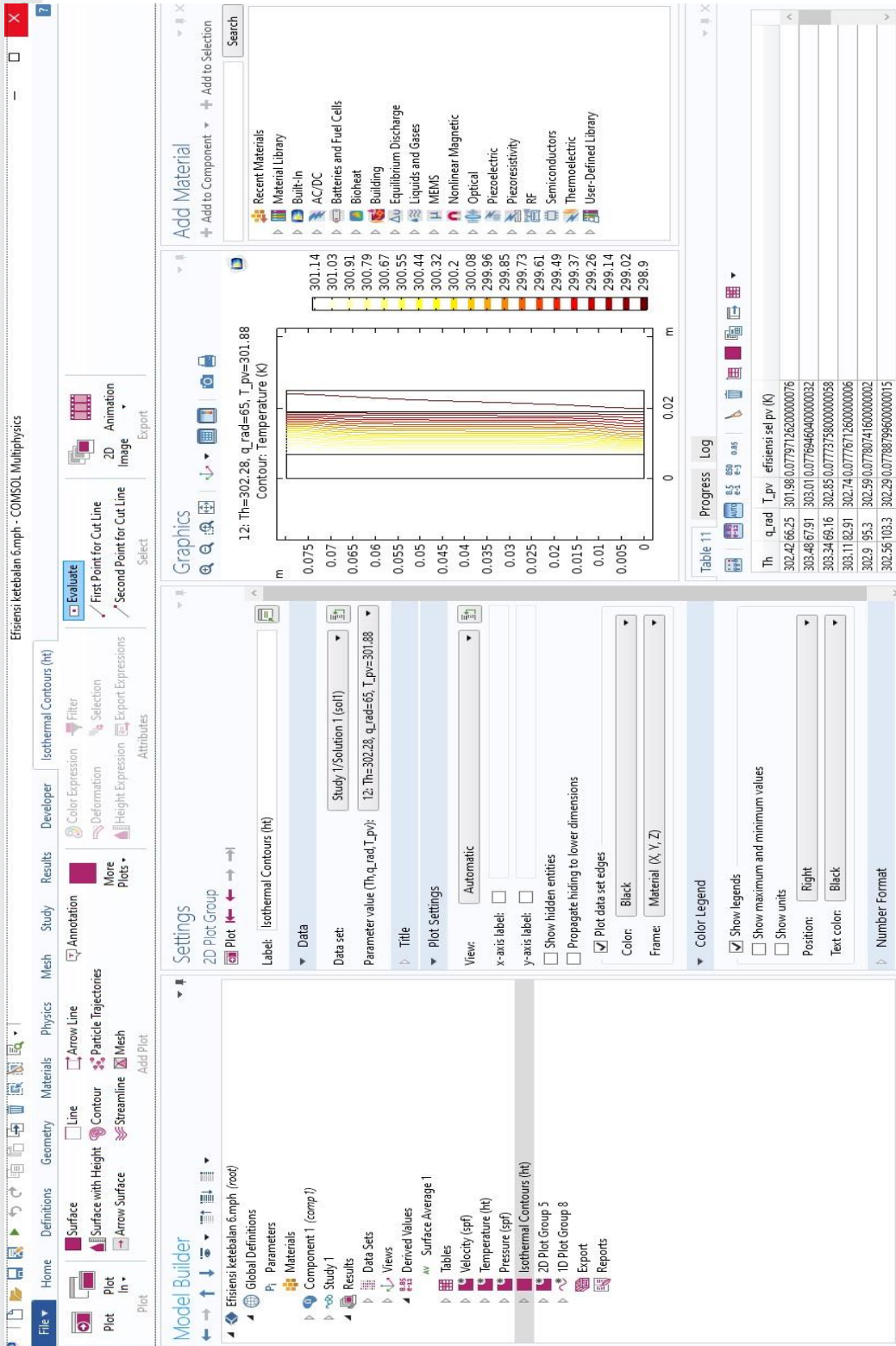




5. Prmodelan Orientasi Timur (4mm)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

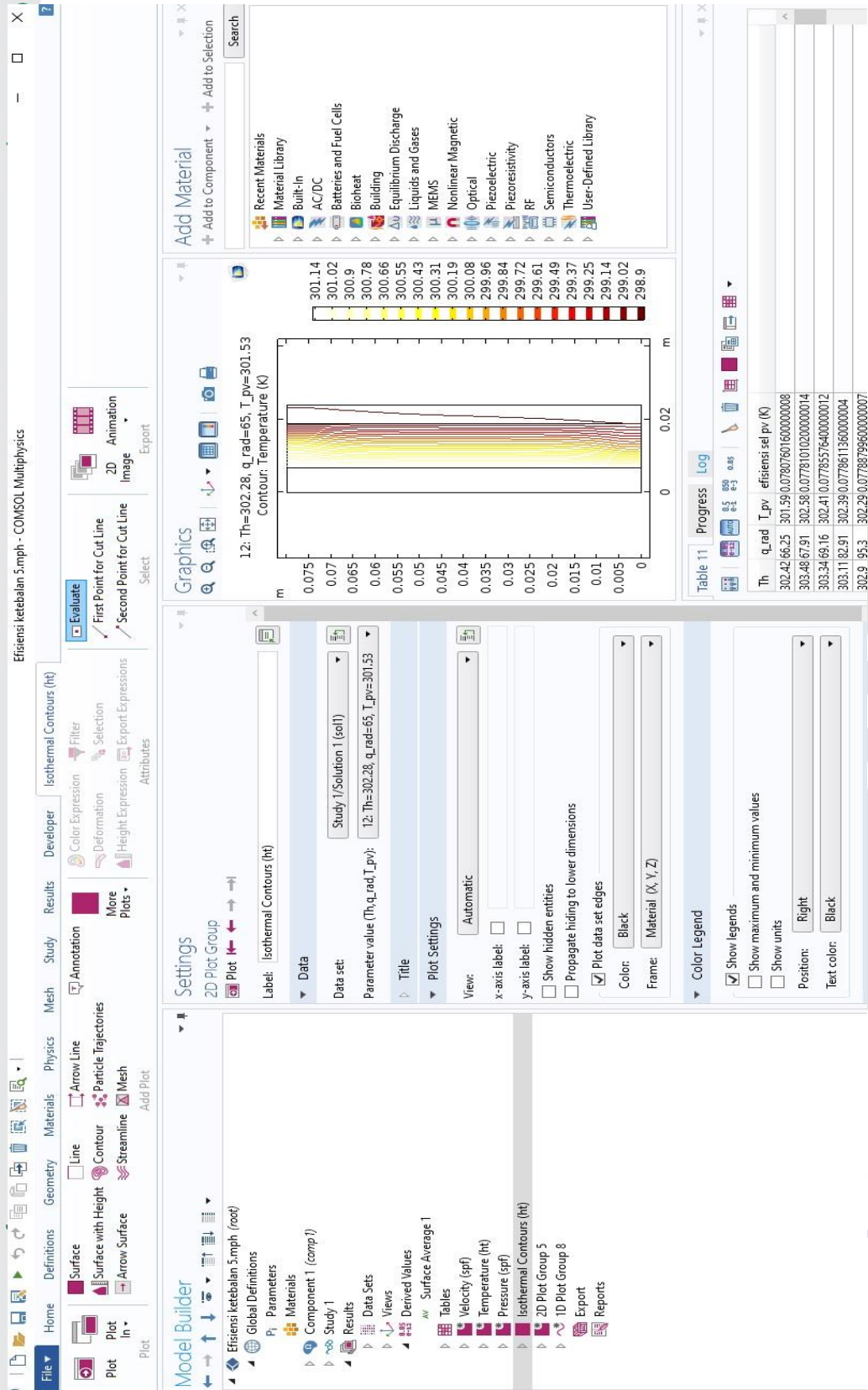




6. Pemodelan Orientasi Timur (5mm)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

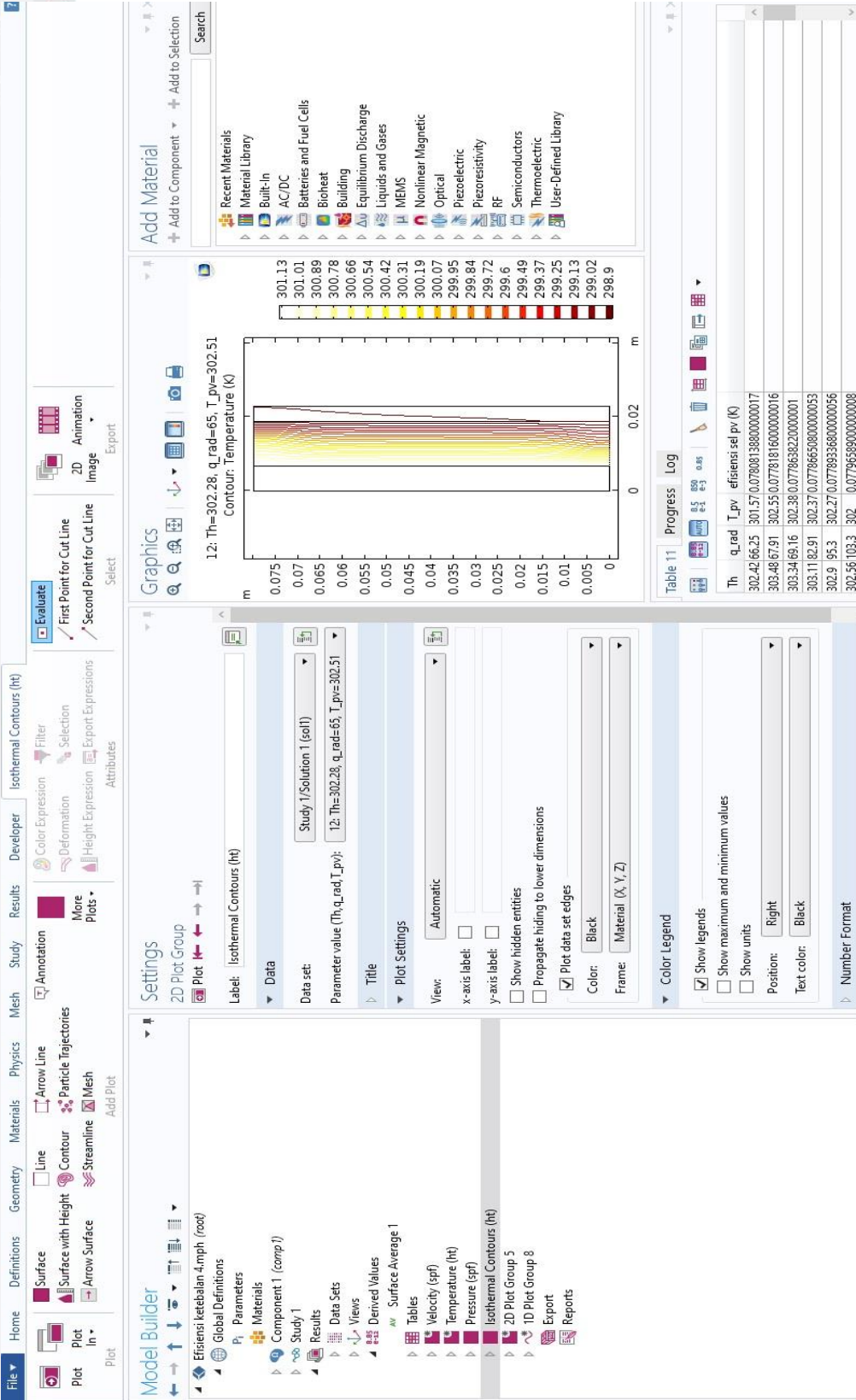




7. Pemodelan Orientasi Timur (6mm)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

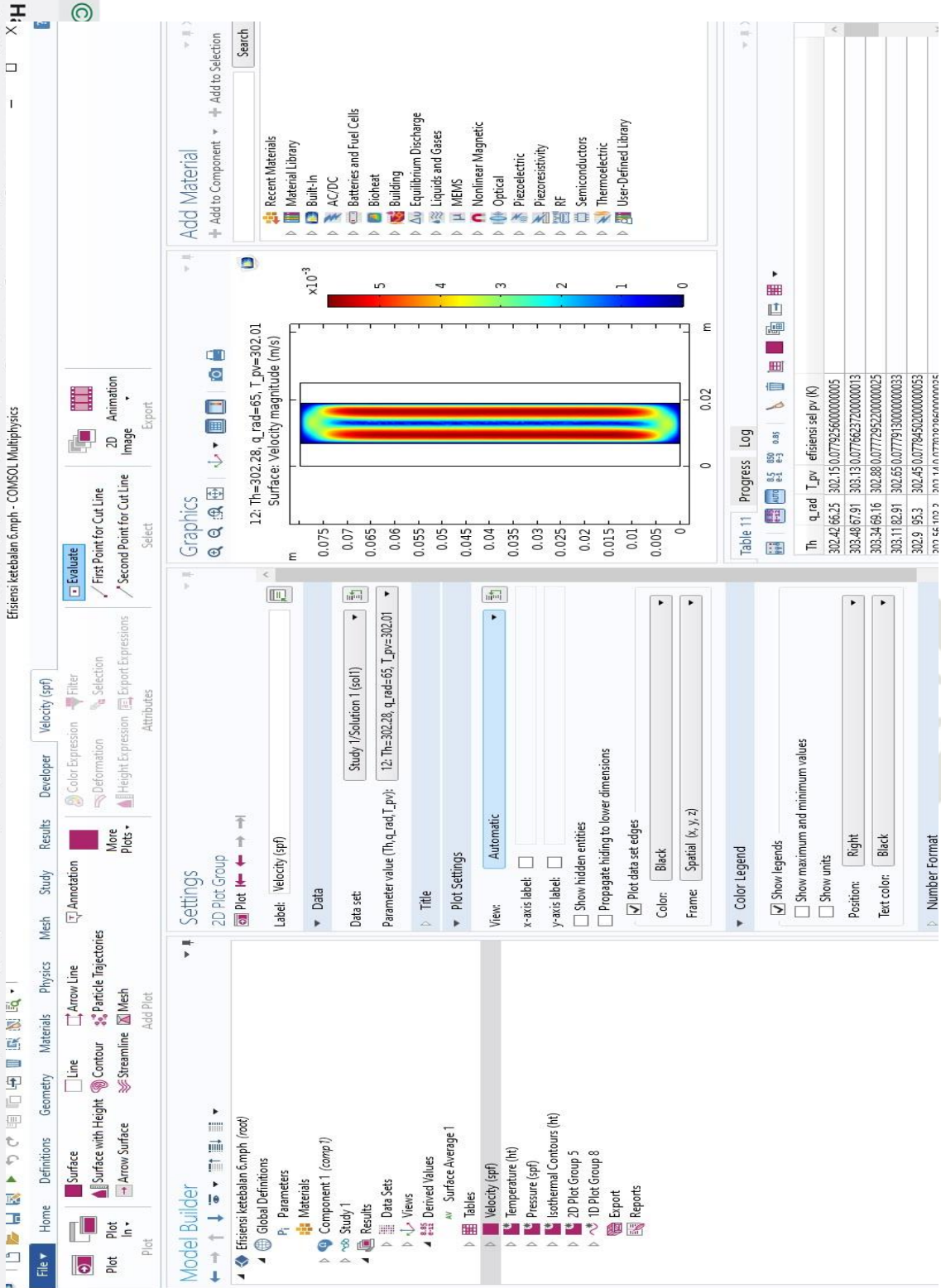
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





8. Pemodelan Orientasi Selatan (4mm)

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



9. Pemodelan Orientasi Selatan (5mm)

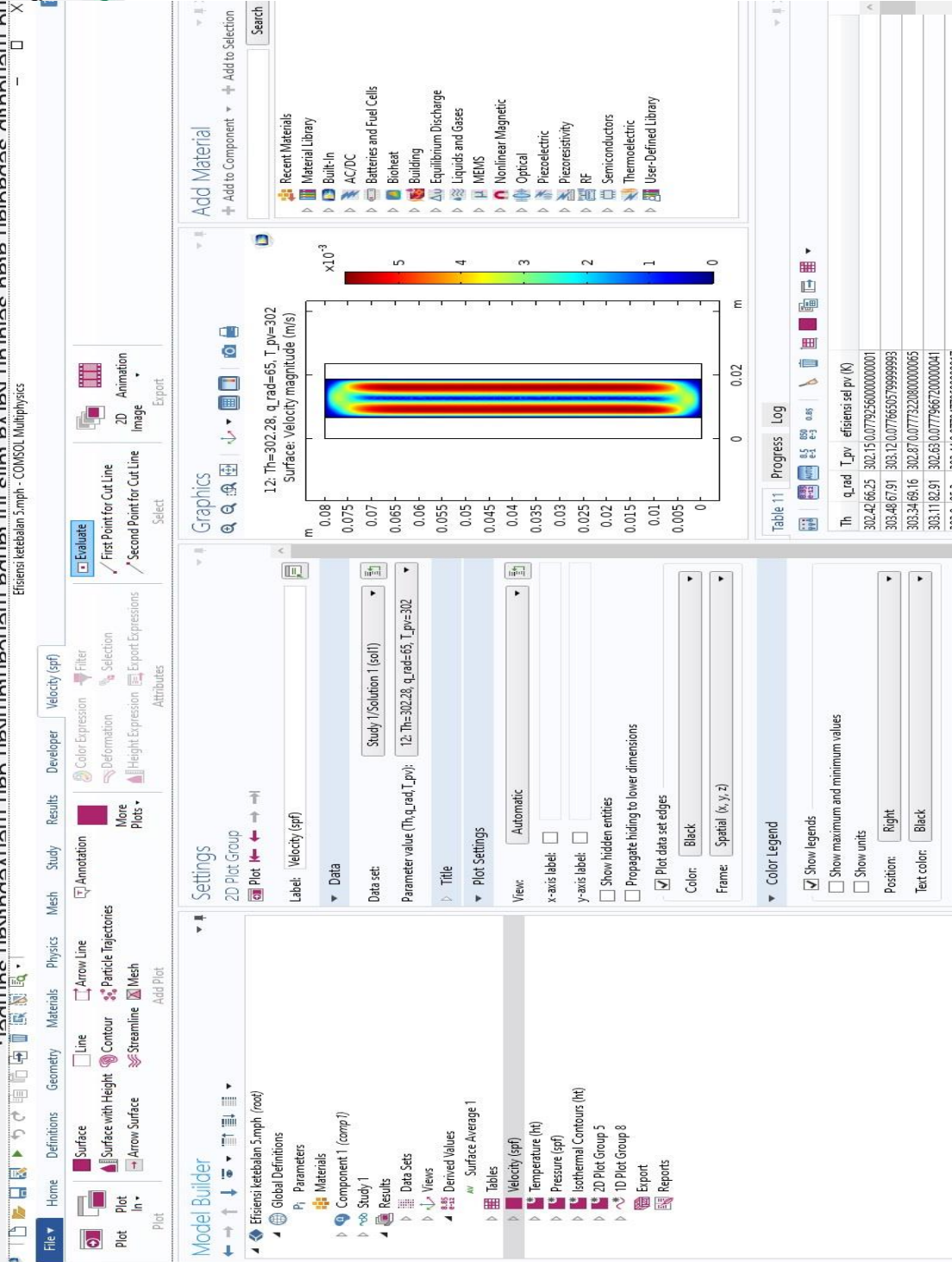
Hak Cipta

1. Dilarang menjiplak sebagian atau seluruh isi karya ilmiah ini tanpa izin dari penerbit atau penyalur.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

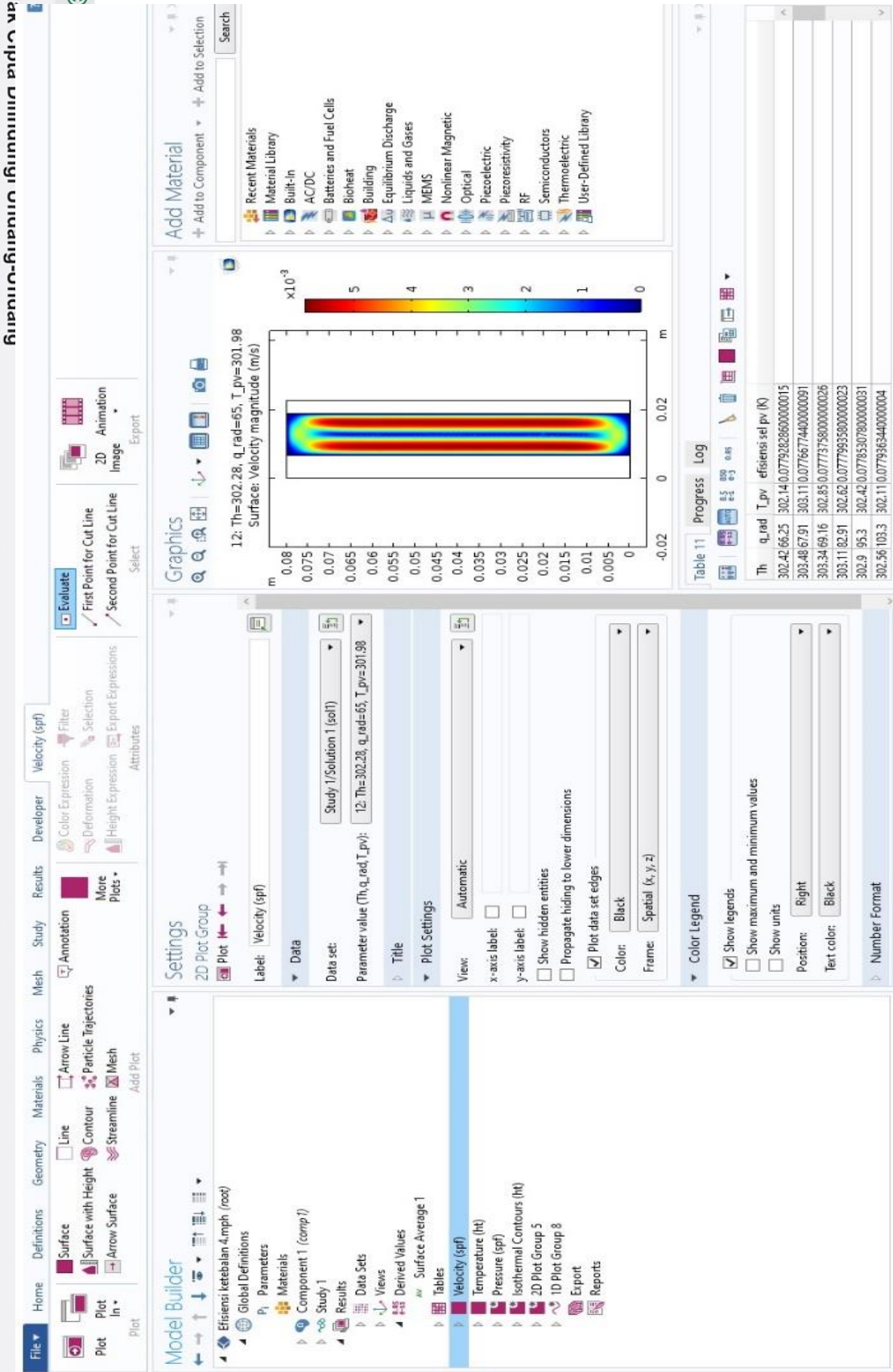
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





10. Pemodelan Orientasi Selatan (6mm)

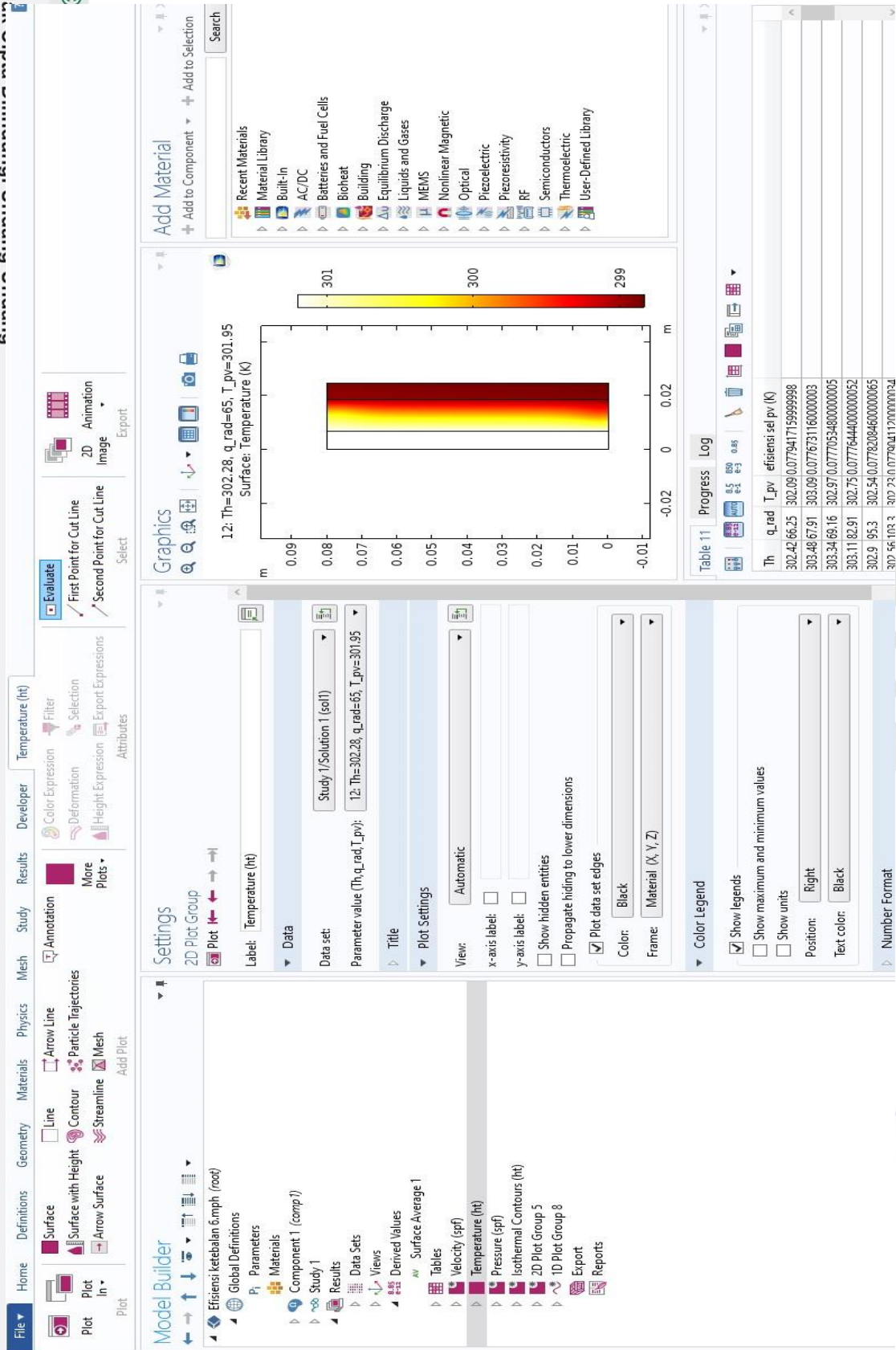
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





11. Pemodelan Orientasi Barat (4mm)

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

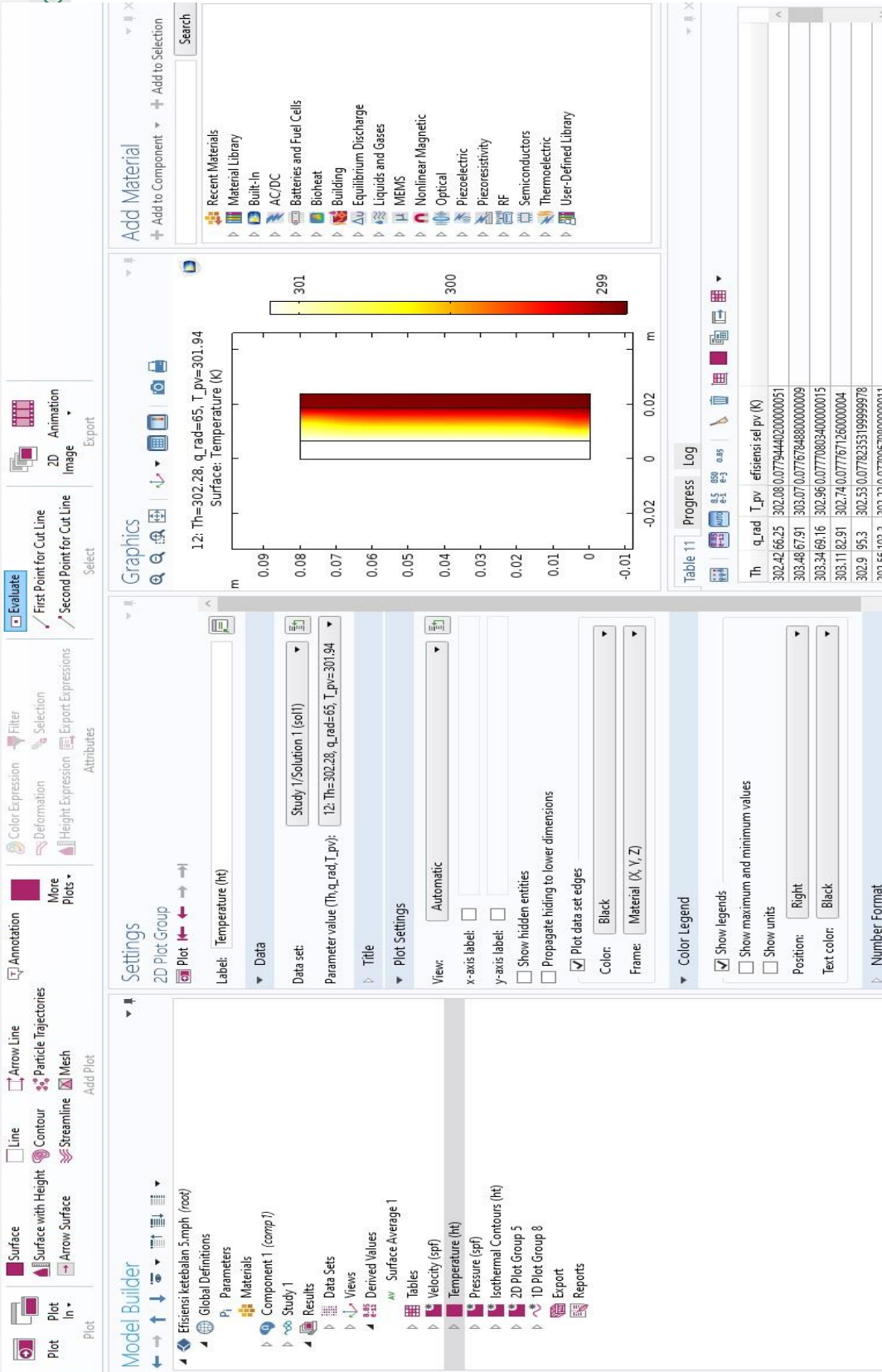




12. Pemodelan Orientasi Barat (5mm)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





13. Pemodelan Orientasi Barat (6mm)

1. **Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
 - a. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - b. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





DAFTAR RIWAYAT HIDUP

© Hak cipta

Hak Cipta Dilindungi



Abdul Hafiz Syam, lahir di Rumbai Jaya 24 Maret 1996 anak kedua dari Tiga bersaudara dari pasangan Bapak Syamsul Bahri dan Ibu Misnawati yang beralamat di Dusun Suka Damai RT 028 RW 010 Desa Bagan Jaya Kecamatan Enok Kabupaten Indragiri Hilir Provinsi Riau.

Penulis dapat dihubungi melalui:

Email : Abdul.Hafiz.Syam@students.uin-suska.ac.id

HP : 081276184412

Pengalaman pendidikan yang pernah ditempuh penulis dimulai dari SDS 021 Visi Fera Tahun 2002-2008 dan dilanjutkan di SMPN 1 Kempas Tahun 2008-2011, kemudian melanjutkan di MAN 1 Indragiri Hilir tahun 2011-2014. Pada tahun 2014 penulis melanjutkan kuliah di perguruan tinggi UIN SUSKA RIAU dengan mengambil Program Studi Teknik Elektro konsentrasi Energi dengan penelitian Tugas Akhir berjudul “Pemodelan *Solar Window Semitransparent Photovoltaic Panels* Untuk Menghasilkan Potensi Energi Listrik (Studi Kasus Pekanbaru Riau)”.

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

UIN SUSKA RIAU

1. Dilarang mengutip atau sebagian karya tulis ini tanpa mengutip sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.